Über die Nachwirkungen bei dielektrischer Erregung

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde einer
Hohen Philosophischen Fakultät an der
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Ernst Schreiber
aus Gau-Algesheim, Kreis Bingen

Göttingen 1912

Darmstadt 1912
Druck der L. C. Wittich'schen Hofbuchdruckerei

Über die Nachwirkungen bei dielektrischer Erregung

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde einer
Hohen Philosophischen Fakultät an der
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Ernst Schreiber
aus Gau-Algesheim, Kreis Bingen

ACAD.
LUGD. BAT.
BIBL.

Göttingen 1912

Darmstadt 1912
Druck der L. C. Wittich'schen Hofbuchdruckerei

Tag der mündlichen Prüfung: 2. August 1912.

Referent: Herr Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. E. Riecke.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

A. Einleitung 5
B. Experimenteller Teil.
§ 1. Die benutzten Apparate 6
a) Versuchsapparat 6
b) Stromquelle 10
c) Meßinstrumente 10
§ 2. Herstellung der Isolatoren 11
a) Kolophonium 11
b) Ebonit 12
c) Schellack 12
d) Siegellack 12
e) Schwefel 13
f) Paraffin 13
g) Verhalten frisch hergestellter Isolatoren 14
§ 3. Versuchsanordnung 15
§ 4. Beobachtungsmethode 17
§ 5. Resultate 18
a) Nachwirkungen von Kolophonium, Ebonit, Schellack und Siegellack 18
b) Nachwirkungen von Paraffin und Schwefel 69
c) Abhängigkeit der Nachwirkungen von T und V 75
§ 6. Einfluß der Luftionen 80
§ 7. Versuch einer Erklärung der verschiedenartigen Nachwirkungen der Dielektrika und Schluß 86
C. Anhang.
Anwendung der Wiechert'schen Theorie über elastische Nachwirkungen 89
D. Zusammenfassung 95

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548107_0144

A. Einleitung.

Die ersten exakten Versuche über elektrische Erregung von Nichtleitern wurden von Faraday[1]) angestellt. Durch seine wichtige Entdeckung legte er das Fundament zu dem weiteren Ausbau der dielektrischen Erscheinungen. Eine der Kardinalfragen ist das Verhalten der Dielektrika im elektrischen Felde. Diese Frage wurde bereits von Faraday und dann später durch vervollkommnete experimentelle Untersuchungen gelöst und kulminiert in der Definition der Dielektrizitätskonstante, von Faraday die spezifische induktive Kapazität genannt. Angeregt durch diese bedeutungsvollen Forschungen hat dann Maxwell die mathematischen Ansätze, die all die gefundenen Tatsachen in sich vereinigen, gegeben und so den Weg gezeigt, auf dem das weitere Experiment von sicherem Erfolg begleitet ist. Die Theorie führte zur Lösung zahlreicher interessanter Fragen, zu denen die Untersuchungen der Vorgänge in dielektrischen Körpern Veranlassung gaben. Wir dürfen uns nur erinnern an die Erscheinungen des elektrischen Rückstandes, der Hysteresis, der Elektrostriktion und besonders an die Erforschung der Optik der dielektrischen Mittel.

Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag zu dem Verhalten fester Dielektrika nach der Einwirkung eines elektrischen Feldes liefern. Die grundlegenden Arbeiten zu diesem Studium bieten die Untersuchungen über die Erscheinungen des elektrischen Rückstandes. Im Laufe der Darstellung sei auf die Originalarbeiten aufmerksam gemacht, die nur einen Bruchteil von dem außerordentlich reichhaltigen Material bilden sollen. Im ersten Teile werden die experimentellen Untersuchungen und Resultate beschrieben. Der zweite Teil behandelt als kurzen Anhang eine Anwendung unserer Versuchsergebnisse auf die Theorie der elastischen Nachwirkungen von E. Wiechert.

[1]) Faraday, Exp. Res. Ser. XI, 1836.

B. Experimenteller Teil.

§ 1. Die benutzten Apparate.

a) Versuchsapparat.

Die Untersuchungsmethode beruht auf folgendem Prinzip: In einem Zylinderkondensator wird ein Isolator frei aufgehängt und durch ein elektrisches Feld dielektrisch erregt. Nach Abnahme des Feldes gleitet das Dielektrikum in einen zweiten Zylinderkondensator und influenziert die innere Elektrode, die mit einem Quadrantenelektrometer verbunden ist. Diese Methode unterscheidet sich prinzipiell von den älteren Arbeiten über die Erscheinung des elektrischen Rückstandes und bietet einen doppelten Vorteil. Erstens wird hierdurch ein Eindringen elektrischer Ladung von der Elektrode in das Innere des Dielektrikums vermieden, zweitens sind die Isolatoren, die mit der zur dielektrischen Erregung dienenden Hochspannungsleitung in Berührung stehen, gleichzeitig nicht mit der Elektrometerleitung verbunden. Um den gestellten Forderungen zu genügen, ist folgende Anordnung getroffen: In einem großen Messingzylinder C (Fig. 1) von 30 cm Länge und 11,3 cm lichter Weite, der einen elektrostatischen Schutz gegen äußere Störungen bieten soll, befinden sich zwei Zylinderkondensatoren. Der obere Kondensator, in dem das elektrische Feld erzeugt wird, besteht aus einem äußeren Messingzylinder A von 15 cm Länge und 5,4 cm lichter Weite und einer inneren Messingelektrode B von 15 cm Länge und 8 mm Dicke. Der untere Kondensator setzt sich aus einem äußeren Messingzylinder A′ von 8,5 cm Länge und 5,4 cm lichter Weite und einem inneren Zylinder B′ von 8 cm Länge und 8 mm Dicke zusammen. Einen festen Halt und genaue Symmetrie des ganzen Systems sichert folgende Konstruktion: Auf einem mit zwei Stellschrauben versehenen Dreifuß sind drei Messingröhren von 30 cm Länge aufgeschraubt, die eine Messingplatte D von 20 cm Durchmesser und 4,5 mm Dicke tragen. Zwei zueinander senkrecht stehende, hochempfindliche Röhrenlibellen, die durch Schrauben auf der Platte D befestigt sind, gestatten, diese

einzustellen. Aus der Mitte von D wird ein Loch von 5,6 cm lichter Weite geschnitten, in das der Zylinder A′ eingelötet ist. Diesen verschließt unten eine zweite in ihn genau eingepaßte Messingplatte D′. In einer in der Mitte von D′ angebrachten Durchbohrung sitzt der mit echtem Bernstein isolierte Zylinder B′, den ein dünner Messingdraht von 0,13 mm Dicke mit dem einen Quadrantenpaar eines Dolezalek-Quadrantenelektrometers verbindet.

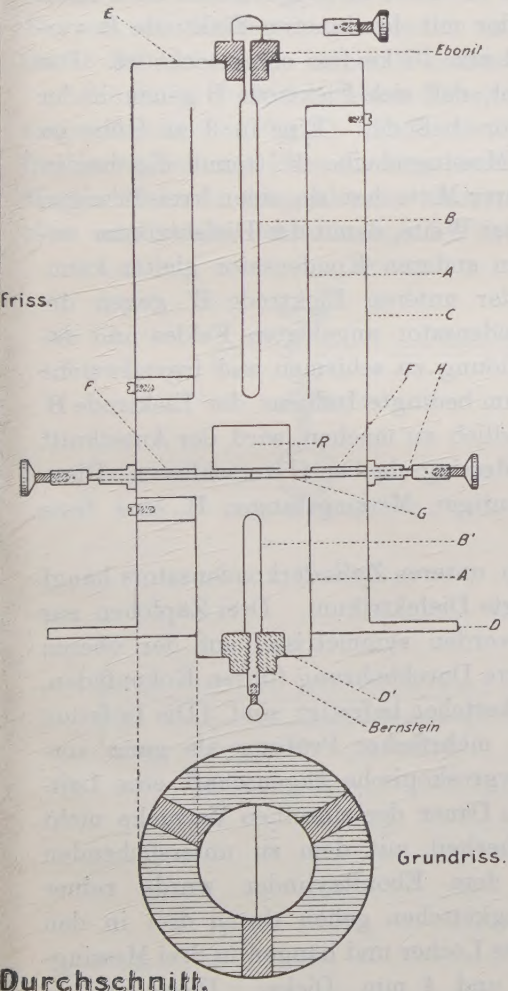


Fig. 1.

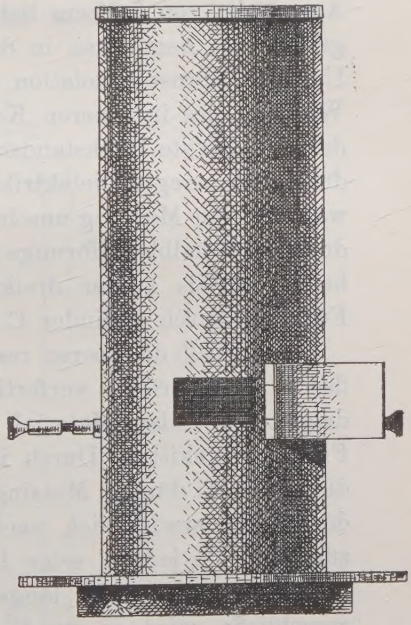


Fig. 1a.

Der auf einer Drehbank laufend gedrehte Zylinder C steht senkrecht auf der Messingplatte D. Drei an Zylinder A′ festgelötete Führungsstücke aus Messing haben eine solche Größe, daß der auf D aufgesetzte Zylinder C von A′ gleichweit entfernt ist. Drei Schrauben verbinden C fest mit A′. In ähnlicher Weise wird Zylinder A durch sechs Führungsstücke (drei oben und drei unten) an C befestigt. Diese sind so eingesetzt, daß A von C gleichen Abstand hat. Den Zylinder C verschließt ein laufend gedrehter Messingdeckel E. Durch ein in seiner Mitte gebohrtes Loch führt eine Ebonitisolation, in die der mit der inneren Elektrode B verbundene Messingdraht von 4 mm Dicke fest eingesteckt ist. Das Ebonitstück wird so abgedreht, daß sich Elektrode B genau in der Mitte des oberen Kondensators befindet. Eine in 9 cm Höhe im Zylinder C eingeschraubte Messingscheibe F trennt die beiden Zylinderkondensatoren. In ihrer Mitte hat sie einen kreisförmigen Ausschnitt von 5,61 cm lichter Weite, damit das Dielektrikum ungestört von dem einen in den anderen Kondensator gleiten kann. Um die Bernsteinisolation der unteren Elektrode B′ gegen die Wirkung des im oberen Kondensator angelegten Feldes und dadurch bewirkte Rückstandsbildung zu schirmen und irgendwelche durch das erregte Dielektrikum bedingte Influenz der Elektrode B′ während der Messung unschädlich zu machen, wird der Ausschnitt durch zwei halbkreisförmige Messingscheiben G verschlossen. Diese haben mittels zweier dreikantiger Messingstangen H eine feste Führung durch Zylinder C.

Innerhalb des oberen resp. unteren Zylinderkondensators hängt das in Zylinderform verfertigte Dielektrikum. Drei Zäpfchen aus dem betreffenden Material werden symmetrisch auf der oberen Fläche aufgekittet. Durch ihre Durchbohrung führen Kokonfäden, die an einem dünnen Messingkettchen befestigt sind. (Die Isolation des Kokon erwies sich nach mehrfacher Prüfung als ganz vorzüglich. Da jedoch seine hygroskopische Eigenschaft eine Leitfähigkeit während der langen Dauer der einzelnen Versuche nicht ausschließt, wird er zur Sicherheit mit dem zu untersuchenden Material durchtränkt [bei dem Ebonitzylinder wurde reiner Kokon benutzt].) Die Messingkettchen gehen durch drei in den Deckel E symmetrisch gebohrte Löcher und hängen in drei Messingstangen von 9,6 cm Länge und 4 mm Dicke. Diese sind in eine Messingscheibe von 4 mm Dicke und 6 cm Durchmesser ein-

geschraubt. Die Scheibe hängt in ihrer Mitte an einem dünnen gut geerdeten Messingdraht und gleichzeitig an einem gewöhnlichen Bindfaden (um ein Zerreißen des Drahtes zu verhindern). Der Messingdraht und Bindfaden laufen über eine Messingrolle J und enden auf einem Haspel. Auf der Achse des Haspels sitzen zwei weitere Scheiben. Diese tragen zwei Anschläge, deren Abstände gleich der Fallhöhe des Isolators vom oberen bis unteren Kondensator gewählt werden. Die Anschläge sind aus Kork verfertigt und schlagen gegen zwei mit Filz versehene Spiralfedern, die auf ein Holzbrett geschraubt sind. Dieses verbinden zwei starke Schrauben mit einem Wandbrett.

Die Rolle J läuft in einer Flasche, die in den Messingring L eingeschraubt ist (Fig. 2). In L ist die Rolle J nach allen Seiten frei beweglich und kann in einer bestimmten Stellung durch eine Mutter M an L festgeklemmt werden. Den Ring L durchsetzt oben eine zweite Schraubenspindel N, die in einer in die Eisen-

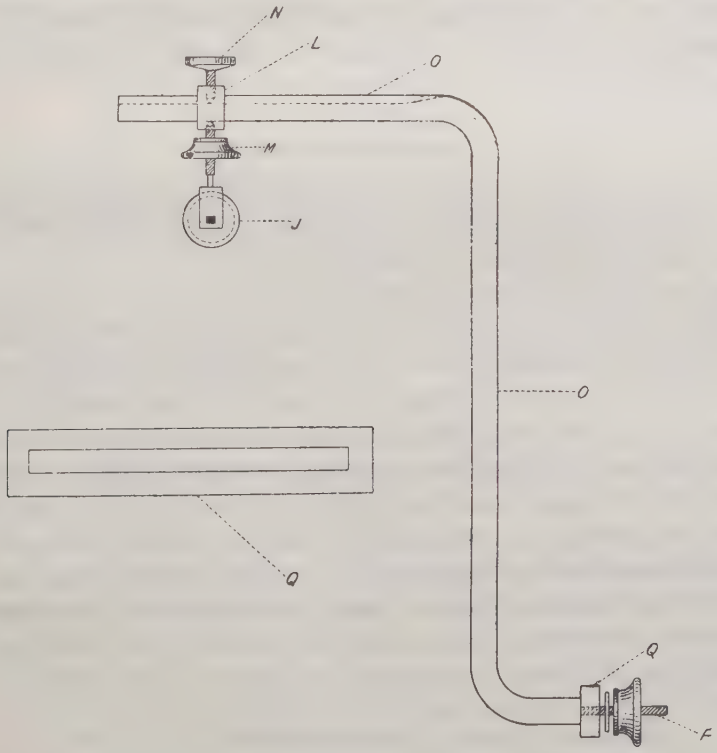


Fig. 2.

stange O eingelassenen Rinne geführt wird und durch leichtes Anziehen den Ring L mit O fest verbindet. Die Stange O ist zweimal rechtwinkelig gebogen und hat am unteren Ende einen Ansatz P, der durch die geschlitzte Querstange Q gesteckt werden kann. Der Ansatz P trägt ein Gewinde und wird mittels einer Schraubenmutter an Q befestigt. Auf zwei Eisenplatten, die in die Zimmerwand eingegipst sind, wird die Querstange Q festgeschraubt. Diese Aufhängung ermöglicht eine genaue Zentrierung des Isolators. Zu diesem Zwecke sind noch an dem großen Zylinder C und auf dem Deckel E je ein Ausschnitt R und S angebracht, die durch Messingplatten leicht verschlossen werden.

b) Stromquelle.

Das elektrische Feld erzeugt eine an die innere Elektrode B des oberen Zylinderkondensators angelegte Spannung, die zwei resp. eine Hochspannungsbatterie von je 800 Zellen liefern. Um diese vor einer etwa durch Kurzschluß bewirkten direkten Stromentnahme zu sichern, ist zwischen B und der Batterie ein Jodkadmiumwiderstand eingeschaltet.

c) Messinstrumente.

Zur Messung der am oberen Kondensator angelegten Spannung dient ein Braunsches Elektrometer vom Meßbereich 0 — 3500 Volt, das mit der Elektrode B parallel geschaltet ist. Die Eichungskurve zeigt eine gute Übereinstimmung mit der im Elektrometer angebrachten Skala; die größten Abweichungen betragen zirka 2,5 %, die, wie die Versuche ergaben, keinen wesentlichen Fehler bedingen.

Die in der inneren Elektrode B′ durch Influenz erzeugte Ladung wird mit einem Dolezalek-Quadrantenelektrometer, dessen Quadrantenpaare durch echten Bernstein gut isoliert sind, gemessen. Die Nadel hängt an einem 0,04—0,07 mm dicken Quarzfaden, der nach einem von Bestelmeyer[1]) angegebenen Verfahren durch Zerstäubung einer Platinkathode leitend gemacht ist, und wird mit einer Weston-Batterie nach Krüger[2]) auf ein konstantes Potential 100 Volt geladen. Ablesefernrohr nebst Skala sind vom Spiegel der Nadel 3 m entfernt.

---

[1]) Bestelmeyer (Zeitschr. f. Instrumentenkunde p. 339, 1905).

[2]) Krüger (Phys. Z. 7. p. 182, 1906).

In dieser Anordnung beträgt die Empfindlichkeit $2 \cdot 10^{-4}$ Volt pro Millimeter der Skala. Als elektrostatischen Schutz umschließt den unteren Teil des zwischen dem Dreifuß aufgestellten Elektrometers ein Messingkasten, dessen Grundplatte gut geerdet ist. In seinem Innern befindet sich der Rutherfordsche[1]) Schlüssel, der leicht die Erdverbindung des einen Quadrantenpaares aus größerer Entfernung zu schließen und zu öffnen gestattet. Ein sicheres Arbeiten seines Quecksilberkontaktes ist durch die auf der Oberfläche des Hg sich allmählich bildende dünne Oxydschicht gefährdet. Denn hierdurch werden elektrostatische Effekte ausgelöst, die den einwandfreien Verlauf des Versuches stören. Um diese Fehlerquelle auszuschalten, tritt an Stelle des Quecksilberkontaktes ein solcher aus Platin, indem ein Platinstift auf einem Platinplättchen, das durch echten Bernstein gut isoliert ist, fest aufsitzt.

Das zweite Quadrantenpaar bleibt dauernd mit der Erde verbunden.

Den oberen Teil des Elektrometers umgibt ein Messingzylinder von 13,5 cm lichter Weite und 10 cm Länge, der in einen auf die untere Seite der Messingplatte D gelöteten Ring fest gesteckt ist. Durch ihn geht seitlich der in Messingröhren eingeschlossene Zuleitungsdraht von Weston-Batterie bis zur Nadel. Unten ist in den Messingzylinder eine zweite Röhre gelötet, die der von Elektrode B′ nach dem Quadrantenpaar führende Messingdraht durchsetzt. Selbstverständlich sind alle zum Elektrometer gehenden Zuleitungen von den geerdeten Messingröhren durch Bernstein isoliert. Statische Ladungen des Bernsteins (bewirkt durch Reiben der dünnen Drähte an den Isolationen) werden durch Messingröhrchen, die in ihn fest eingepaßt sind, vermieden.

§ 2. Herstellung der Isolatoren.

a) Kolophonium.

Das im Handel käufliche Kolophonium wird von dem in ihm eingebetteten Schmutz gereinigt und in einem Mörser zerrieben. In ein Glasgefäß eingefüllt, wird es in einem Sandbad auf 120° erhitzt, bis es flüssig ist, und dann in Formen gegossen. Diese bestehen aus einem äußeren Glaszylinder von 43,55 mm

[1]) Rutherford, Radioaktivität p. 99, 1907, Deutsche Ausgabe.

lichter Weite und 75 mm Höhe und einem inneren Glaszylinder von 18,1 mm Durchmesser und 75 mm Höhe. Beide sind zu einer planparallelen Glasplatte vertikal geschliffen. Um ein Anhaften des flüssigen Kolophoniums an dem Glase zu vermeiden, umgibt den inneren Zylinder ein mit Glycerin getränktes Stück Seidenpapier. Den äußeren Zylinder überzieht eine dünne Schicht Glycerin. Beide Zylinder stehen auf einer mit Glycerin eingefetteten planparallelen Glasplatte und werden mittels eines Komparators genau ausgerichtet. Dann wird das Kolophonium eingegossen, das nach kurzer Zeit erstarrt. Leicht läßt sich der fertige Zylinder aus der Form nehmen. Nachdem das ihm anhaftende Glycerin mit destilliertem Wasser abgespült ist, wird er in einem Exsikkator gut getrocknet. Durch vorsichtiges Erwärmen über einer Flamme gelingt es, ihn so zu polieren, daß er vollkommen durchsichtig ist.

b) Ebonit.

Ein Ebonitzylinder wird von der Continental-Caoutchouc- und Gutta-Percha-Compagnie, Hannover, bezogen und auf der Drehbank bearbeitet.

c) Schellack.

Die beste Qualität hellgelben Schellacks wird gereinigt und in einem Mörser zerrieben. Da er durch Erwärmen im Sandbad nicht in flüssigen Zustand übergeführt werden kann, sondern bei hoher Temperatur sich zersetzt und verkohlt, wird er in einem zylinderförmigen Glasgefäß mit rundem Boden im Wasserbad zum Erweichen gebracht. Um alle Luft zu verdrängen, wird er mittels einer Wasserstrahlpumpe vorsichtig evakuiert, bis sich kein Aufblähen der zähen Masse zeigt. Dann läßt man etwas erstarren und langsam Luft einströmen. Die ersten Versuche lehren, daß auch hier einige Vorsichtsmaßregeln zu treffen sind. Beim Erstarren wird nicht nur das Glasgefäß, sondern auch der Schellackzylinder gesprengt. Der Glaszylinder wird daher in feuchte Tücher eingehüllt. Der Versuch ist mit dem erwünschten Erfolg begleitet. Der feste Zylinder erwies sich nach nachträglicher Untersuchung als vollkommen homogen.

d) Siegellack.

Siegellack wird in hellroten Stangen, die als beste Qualität in den Handel kommen, gekauft. Diese werden etwas zerkleinert

und in einen Glaszylinder gebracht. Da gerade bei Siegellack, der aus einem großen Gemisch anorganischer und organischer Substanzen hergestellt ist, ein Zersetzen bei hoher Temperatur leicht zu erwarten ist, wird er im Wasserbad erwärmt. Durch vorsichtiges Evakuieren mit der Wasserstrahlpumpe wird alle Luft abgesaugt. So erhält man nach dem Erstarren eine feste vollkommen homogene Masse.

e) Schwefel.

Chemisch reinen Schwefel lieferte die Firma Kahlbaum. Er wird in ein Glasgefäß eingefüllt und, um ihn auf konstanter Temperatur zu erhalten, mittels des elektrischen Stromes geschmolzen. Zu diesem Zwecke wird der Glaszylinder mit angefeuchteter Asbestpappe umgeben, die getrocknet den Zylinder fest umschließt. Um diese führt in engen Windungen dünner Konstantandraht, der vom elektrischen Strom durchflossen wird. Den Strom liefert die städtische Leitung (220 Volt Spannung). Durch vorgeschalteten Widerstand kann die Stromstärke auf 1,9 Ampère reduziert werden. Binnen kurzer Zeit erreicht die Temperatur einen konstanten Wert von 120°. Die Schwefelkristalle, die aus CS_2 auskristallisiert sind, schließen noch eine große Menge ihres Lösungsmittels in sich. Durch starkes Evakuieren wird der flüssige Schwefel davon befreit. Um nach dem Erstarren einen festen, nicht porösen Zylinder zu erhalten, muß er flüssig unter Atmosphärendruck abgekühlt werden.

f) Paraffin.

Das im Handel in Blöcken zu beziehende Paraffin vom Schmelzpunkt 58—62° wird zerschnitten und in einer Porzellanschale geschmolzen. Um es gründlich zu reinigen, wird es flüssig durch zwei mit Filtrierpapier und weißer Leinwand ausgelegte Trichter (Hasenöhrl)[1]), die durch den elektrischen Strom vorgewärmt sind, filtriert. Dann fließt es in den in Asbestpappe eingehüllten Glaszylinder. Sobald das Glasgefäß gefüllt ist, werden die beiden Trichter weggenommen, und die flüssige Masse durch den elektrischen Strom von 1,5 Ampère auf der konstanten Temperatur 65° gehalten. Über 70° darf nicht erwärmt werden, da sonst das Paraffin nach dem Erstarren braun gefärbt ist. Mit der Wasserstrahlpumpe wird so lange evakuiert, bis keine Luftbläschen mehr

[1]) Hasenöhrl (Sitzungsber. d. Wien. Akad. 107, p. 1035, 1898).

aufsteigen. Dann läßt man zuerst die untere Masse im Vakuum erstarren, während der obere Teil weiter erwärmt wird. Dadurch wird der im Innern des Paraffins sich leicht bildende Hohlraum vermieden.

Mit Ausnahme des Kolophoniums werden alle anderen Isolatoren auf der Drehbank in Zylinderform hergestellt. Um sie im oberen Versuchsraume einem homogenen elektrischen Felde auszusetzen, sind sie 75 mm lang, was der halben Länge des oberen Kondensators entspricht. Der Durchmesser von 43,55 mm und die lichte Weite von 18,1 mm sind so gewählt, daß sie von dem inneren resp. äußeren Zylinder 5 mm entfernt sind. Hierdurch wird verhütet, daß elektrische Ladungen (vermittelt durch Staubteilchen oder feine Fäserchen) auf sie direkt übergehen. In einem Exsikkator werden sie aufbewahrt und durch einen Schutzkasten gegen die Einwirkung des Tageslichtes geschützt.

g) Verhalten frisch hergestellter Isolatoren.

Es erübrigt noch, auf ein höchst eigentümliches Verhalten aller Isolatoren hinzuweisen. Um alle statischen Ladungen wegzunehmen, wird das zuerst untersuchte Kolophonium vorsichtig durch eine Flamme geführt. In den Apparat eingesetzt, zeigt die Nadel des Quadrantenelektrometers zunächst keinen Ausschlag. Nach kurzer Zeit wächst jedoch die Ladung auf der Oberfläche des Zylinders bis zu einem maximalen Betrage von etwa 330 Skalenteilen Ausschlag an. Erst nach 6 Wochen ist der Zylinder ladungsfrei.

Ein recht interessantes Beispiel bietet Siegellack. 14 Tage nach seiner Herstellung wird er im Apparate $^1/_2$ Stunde Röntgenstrahlen, die in einer Röntgenröhre erzeugt werden, ausgesetzt. Kurz nach dem Versuche ist alle Ladung verschwunden, aber bereits am folgenden Tage zeigt sich ein deutlicher Ausschlag von 4 Skalenteilen, der nach 4 Tagen auf 150 Skalenteile angestiegen ist. Auf den Zylinder wirkt dann 48 Stunden ein radioaktives Präparat, Polonium, ein. Auch diese Methode hat einen negativen Erfolg. Erst nach einem halben Jahre bringt der 48stündige Einfluß des Poloniums alle Oberflächenladung zum Verschwinden. — Als ungefährliches radioaktives Präparat wird Polonium benutzt, das auf einer Metallplatte niedergeschlagen ist. Auf einem Glasplättchen befestigt, wird es mit der größten Sorgfalt in den Apparat gebracht, um den zu untersuchenden Zylinder

seiner Einwirkung auszusetzen. Nach seiner Entfernung zeigt eine genaue Prüfung keine störende Nachwirkung. —

Der Verlauf dieser merkwürdigen Erscheinung wird an Schellack näher verfolgt. Der frisch hergestellte Zylinder wird 7 Tage nach seiner Bearbeitung auf der Drehbank im Versuchsapparat aufgehängt und 48 Stunden Polonium ausgesetzt. Bereits 2 Stunden, nachdem das Präparat entfernt ist, zeigt das Elektrometer einen Ausschlag von 2 Skalenteilen, der nach einer Woche den maximalen Betrag von 19,2 erreicht. Das Anwachsen der Ladung geschieht in ganz unregelmäßiger Form, oft ist an einem Tage ein deutlicher Rückgang zu finden, da folgt schon am folgenden Tage ein Ausschlag bis zu 6—7 Skalenteilen. Nach $1^1/_2$ Monaten konnte mit der eigentlichen Untersuchung begonnen werden.

Diese Erscheinungen legen die Vermutung nahe, daß in frisch gegossenen und mechanisch bearbeiteten Isolatoren Spannungen vorhanden sind, deren Ausgleich die Oberflächenladungen verursacht. Für diese Annahme spricht der Umstand, daß ein Isolator durch leichte Erschütterungen, wie sie sich bei dieser Versuchsanordnung durch sehr schnelles Abrollen der Zylinder, ohne daß sie dabei den Boden des Apparates berühren, hervorrufen lassen, dauernde Ladungen aufweist, die wohl durch Molekularkräfte (Spannungen) ausgelöst sind. Fast eine ganze Woche vollständiger Ruhe ist nötig, um die Untersuchung fortzusetzen, während durch Reiben an den Metallwänden verursachte Ladungen durch Polonium sofort für immer verschwinden.

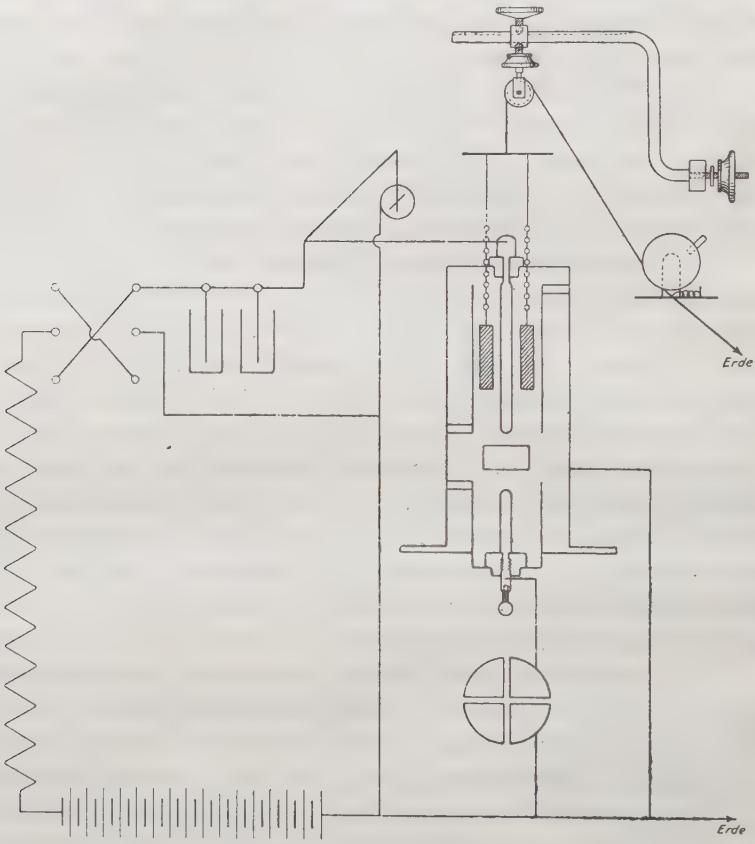
Um die Dielektrika gebrauchsfähig zu machen, werden sie daher in einen Exsikkator, dessen Grundplatte durch Zinnfolie gut geerdet ist, eingeschlossen und $^1/_4$—$^1/_2$ Jahr ohne Lichtzufuhr sich selbst überlassen. Dann genügt eine Einwirkung unseres Präparates, um binnen kurzer Zeit die statischen Ladungen, die sich bei etwas unvorsichtigem Einsetzen durch Reiben gebildet haben, aufzuheben.

§ 3. Versuchsanordnung.

Beiliegende Skizze zeigt uns das Schaltungsschema in seiner benutzten Form.

Bei den Vorversuchen dient als Stromquelle eine Influenzmaschine. Diese treibt ein Motor, dem zu seiner Regulierung Glühlampenwiderstände vorgeschaltet sind. Um ein möglichst konstantes Potential zu erhalten, sind dem einen Pol der Maschine

10 Leidener Flaschen parallel geschaltet. Bei den Versuchen stellen sich jedoch einige Mängel ein. Erstens ist es äußerst schwierig, infolge der Stromschwankungen im städtischen Leitungsnetz den Motor gleichmäßig laufen zu lassen und dadurch Fehler in der Spannung bis zu 20% und mehr zu vermeiden. Zweitens verursacht der öfters eintretende Polwechsel der Maschine unliebsame



Schaltungsschema.

Fig. 3.

Störungen. Wie die Beobachtungen ergeben, reichen Spannungen bis zu 3000 Volt für die Untersuchungen vollkommen aus. Weit bequemer können wir über diese in den beiden Hochspannungsbatterien verfügen. Für die Hauptversuche wird daher die Influenzmaschine durch die Batterien ersetzt. Das Versuchsschema bleibt ungeändert.

§ 4. Beobachtungsmethode.

Der Beobachtungsraum ist während der Dauer der Untersuchungen verdunkelt, um die Zimmertemperatur möglichst konstant zu erhalten (im Laufe eines Tages schwankt sie um 1°) und den Einfluß des Tageslichtes auf den Isolator unschädlich zu machen.

Das Dielektrikum wird mit einem glatten weißen Papier umgeben, aus dem Exsikkator genommen, an die Messingkettchen gehängt und mit der größten Vorsicht in den Versuchsapparat gebracht. Durch Öffnen der beiden Messingplatten R und S kann es genau ausgerichtet werden.

Infolge des sehr schnellen Abklingens der dielektrischen Erregung wird folgende indirekte Methode zu ihrer Messung eingehalten. Zu Beginn eines jeden Versuches wird der Isolator auf Oberflächenladung geprüft. Zeigt das Elektrometer keinen Ausschlag, dann wird er mittels des Haspels in die Mitte des oberen Kondensators gebracht, die halbkreisförmigen Scheiben geschlossen und zu einer bestimmten Zeit, die durch das Auslösen einer Stoppuhr angezeigt wird, mittels eines Paraffinkommutators die Spannung angelegt. Nachdem 3 resp. 2, 1, $^1/_2$ oder $^1/_4$ Minuten verstrichen sind, wird ausgeschaltet und gleichzeitig eine zweite Stoppuhr angelassen, die beiden Scheiben H sofort auseinandergezogen, das Dielektrikum durch den Haspel in den zweiten Kondensator gebracht und nach $^1/_2$ resp. 1 Minute die Erdung des einen Quadrantenpaares durch Ziehen an dem Rutherfordschen Schlüssel aufgehoben. Gleichzeitig wird die eine Uhr gestoppt und die andere in Gang gesetzt. Nach einigen Vorversuchen war eine sichere Handfertigkeit angeeignet. Um die Influenz der inneren Elektrode B′ zu messen, führt der Haspel den Zylinder in den oberen Kondensator zurück, die beiden halbkreisförmigen Scheiben werden geschlossen und der Ausschlag der Elektrometernadel beobachtet. Nach Verlauf von 3 Minuten, die nötig sind, bis die Nadel sich vollkommen beruhigt hat, wird die Messung in derselben Weise wiederholt.

Zwischen zwei aufeinanderfolgenden Versuchen wird stets so lange gewartet, daß keine von dem ersten herrührende Nachwirkung während der Ausführung des zweiten zu befürchten ist. Denn wie einige Untersuchungen erkennen lassen, darf diese Vorsicht nicht außer acht gelassen werden. Erstens, werden zwei Messungsreihen kurz nach dem Verlauf der ersten vorgenommen, so stellt

sich eine wesentlich andere Nachwirkung ein, als wenn 2—3 Stunden nach dem ersten Versuche verflossen sind. Zweitens, laden sich die Zylinder infolge der fortgesetzten dielektrischen Erregung, namentlich wenn sie hohen Potentialen ausgesetzt sind, schwach negativ bis zu einem Ausschlag von 2—4 Skalenteilen auf. Erst nach 1—2 Tagen Ruhe ist die Ladung verschwunden. Wegen dieser zu befolgenden Vorsichtsmaßregeln erfordern die Untersuchungen einen langen Zeitaufwand. Die Kontrollmessungen werden durchschnittlich erst 8 Tage nach dem ersten Versuche vorgenommen; bei allen ergibt sich eine befriedigende Übereinstimmung.

Recht interessant ist es, den Einfluß verschiedenartiger, kurz hintereinander einwirkender elektrischer Felder zu beobachten. Bei einigen Isolatoren sind derartige Versuche angestellt. Wirken zum Beispiel nacheinander ein negatives, dann positives und zuletzt wieder ein negatives Feld derselben Stärke ein, so beobachtet man ein Wandern unserer Elektrometernadel von der einen Seite der Skala nach der anderen und wieder zurück in der Weise, daß sie nach der dem negativen Felde entsprechenden Seite einen Ausschlag anzeigt, dann die Ruhelage überschreitet, nach der anderen Seite ausschlägt und schließlich nach einem zweiten Durchgang durch die Ruhelage wieder in die erste Richtung zurückkehrt und allmählich den Nullpunkt erreicht. Wir begnügen uns mit der Feststellung der Tatsache, ohne genauere Messungen anzustellen.

§ 5. Resultate.

a) Nachwirkungen von Kolophonium, Ebonit, Schellack und Siegellack.

Die Untersuchungen sind mit Spannungen von — 3200, — 2600, — 2120, — 1650, — 980, — 490 Volt ausgeführt. An die innere Elektrode ist der negative Pol der Hochspannungsbatterie angelegt, um die innere Fläche des Isolators positiv zu erregen. Irgend welche schädliche Einflüsse — seien es unvorsichtiges Abrollen des Zylinders, was eine negative Aufladung bewirkt, oder durch größere Staubfäserchen auf den Isolator übertragene Elektrizitätsmengen —, fallen dadurch am sichersten ins Auge.

Die Expositionszeiten, während deren die Dielektrika dem elektrischen Felde ausgesetzt sind, betragen 3, 2, 1, $^1/_2$ und $^1/_4$ Minuten. Für die Expositionszeit 3 Minuten kommen bei unseren Messungen nur — 1650, — 980 und — 490 Volt in Betracht, da der Meßbereich unserer Skala nicht ausreicht, um die durch höhere

Spannungen bewirkte dielektrische Erregung zu beobachten. In Tabellen und Kurven sind die Resultate niedergelegt. Hierin bedeuten V die angelegte Spannung, T die Expositionszeit, t gemessene Zeit der Nachwirkung und x der in cm gemessene Ausschlag der Elektrometernadel. Um Kurven von übersichtlicher Größenordnung zu erhalten, sind nach E. Wiechert auf der Ordinatenachse die Ausschläge x (in cm) in der gebräuchlichen Form eingetragen, während der Abszissenachse solche t-Werte (in Minuten) entsprechen, die in geometrischer Progression anwachsen.

Werfen wir einen kurzen Blick auf das Verhalten der Dielektrika.

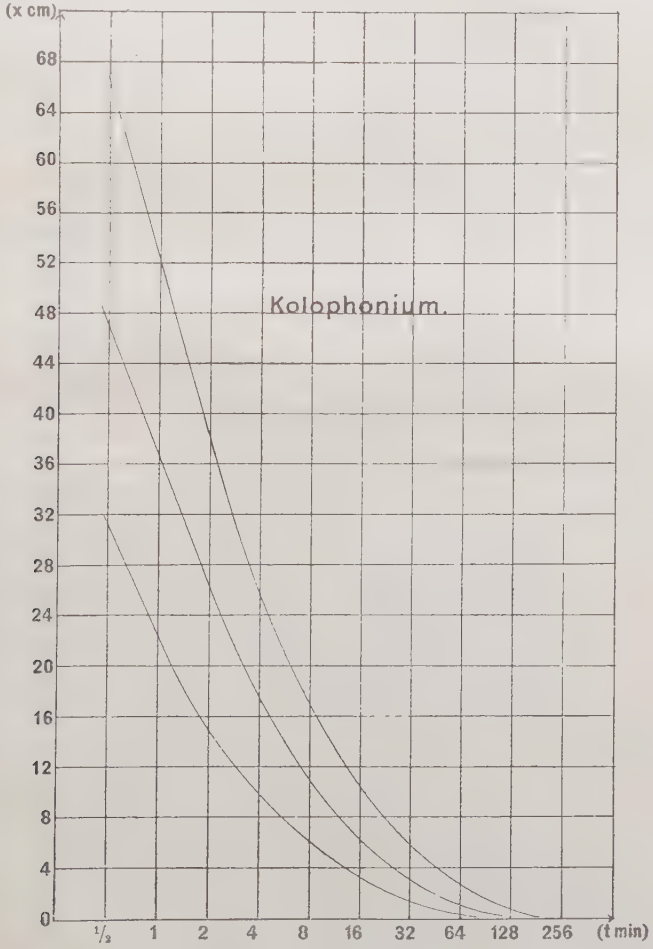


Fig. 4. $T = 3^{min}$

Kolophonium.

V	T	x	t
1620 V	3^{min}	66.18	0^{m} 30^{s}
		51.37	1′ 0″
		37.4	1′ 57.7″
		33.27	2′ 30.9″
		24.09	4′ 7.2″
		21.74	5′ 51.3″
		20.57	6′ 9.5″
		17.84	7′ 26.4″
		16.38	8′ 46.9″
		14.45	9′ 55.2″
		13.7	11′ 36.0″
		13.2	12′ 19.9″
		12.86	13′ 1.4″
		11.27	14′ 42.2″
		10.68	16′ 10.3″
		9.74	18′ 57.6″
		9.43	19′ 32.6″
		8.76	21′ 16.8″
		7.48	24′ 29.0″
		7.36	25′ 22.2″
		6.24	29′ 47.4″
		5.97	31′ 51.8″
		4.83	37′ 41.2″
		4.45	43′ 57.0″
		4.1	47′ 15.9″
		2.71	58′ 24.6″
		2.42	67′ 47.2″
		2.13	76′ 44.0″
		0.85	113′ 9.4″
		0.74	151′ 7.4″
		0.14	176′ 49.0″

V	T	x	t
970 V	3^{min}	47.04	0^{m} 30^{s}
		36.7	1′ 0″
		23.89	2′ 26.1″
		22.94	2′ 32.9″
		20.3	3′ 15.6″
		16.4	4′ 39.1″
		15.59	5′ 7.1″
		13.38	6′ 9.6″
		11.75	7′ 15.3″
		11.33	7′ 41.4″

V	T	x	t
970 V	3^{min}	10.01	8^{m} 57.6^{s}
		9.3	9′ 57.6″
		9.28	10′ 13.4″
		7.93	12′ 14.4″
		6.63	14′ 14.7″
		6.33	16′ 52.4″
		4.66	19′ 35.2″
		4.44	22′ 4.8″
		3.76	25′ 28.0″
		3.38	28′ 18.9″
		2.72	31′ 43.7″
		2.49	34′ 52.8″
		2.05	40′ 46.9″
		1.76	45′ 7.2″
		1.55	48′ 0″
		1.13	55′ 57.8″
		0.78	67′ 3.8″
		0.27	98′ 52.1″

V	T	x	t
470 V	3^{min}	31.08	0^{m} 30^{s}
		21.34	1′ 0″
		12.7	2′ 32.8″
		11.12	3′ 15.6″
		9.24	4′ 4.8″
		8.2	5′ 3.2″
		6.83	6′ 28.6″
		6.18	7′ 21.6″
		5.93	8′ 25.2″
		4.96	9′ 51.4″
		4.68	10′ 13.4″
		4.46	11′ 32.3″
		4.21	12′ 23.7″
		2.92	15′ 36.1″
		2.84	18′ 15.0″
		2.43	21′ 6.2″
		2.1	22′ 49.1″
		1.78	27′ 35.5″
		1.28	34′ 32.9″
		1.04	40′ 10.5″
		0.73	49′ 52.6″
		0.37	68′ 25.8″
		0.15	83′ 46.9″

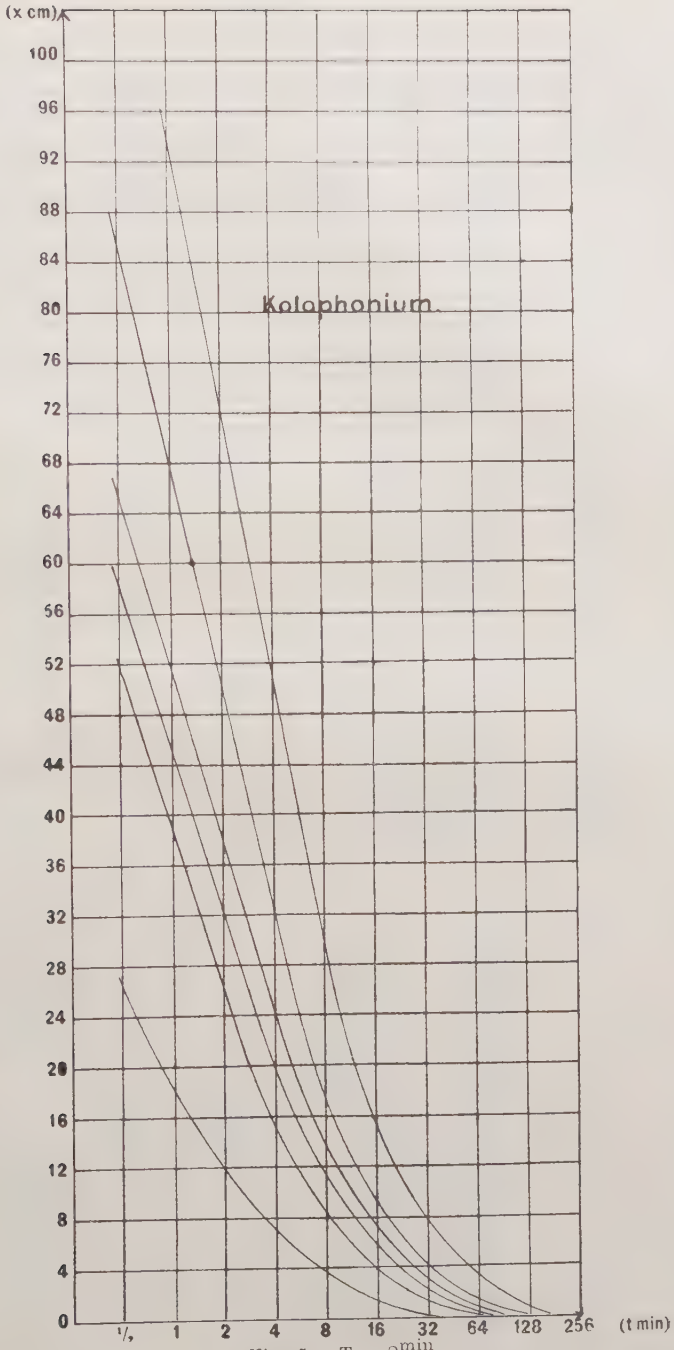

(x cm)
100
96
92
88
84
80
76
72
68
64
60
56
52
48
44
40
36
32
28
24
20
16
12
8
4
0
Kolophonium
1/2
1
2
4
8
16
32
64
128
256
(t min)

Fig. 5. $T = 2^{min}$

Kolophonium.

V	T	x	t
3150 ∿	2^{min}	—	$0^m\ 30^s$
		93.22	1′ 0″
		74.12	1′ 57.2″
		64.28	2′ 42.0″
		60.08	3′ 6.0″
		46.17	4′ 27.4″
		39.8	5′ 9.5″
		39.45	6′ 20.2″
		34.26	7′ 9.6″
		26.98	8′ 46.8″
		26.63	9′ 36.4″
		22.49	10′ 47.4″
		20.59	12′ 35.8″
		18.71	13′ 1.5″
		14.85	15′ 52.8″
		13.92	17′ 25.6″
		12.32	19′ 29,0″
		10.39	23′ 37.7″
		9.0	27′ 31.2″
		6.83	32′ 31.7″
		6.55	35′ 3.9″
		5.39	42′ 54.9″
		5.04	44′ 55.1″
		4.32	50′ 15.3″
		4.04	55′ 2.4″
		3.3	62′ 4.4″
		2.74	69′ 4.6″
		2.52	73′ 8.1″
		1.83	86′ 32.3″
		1.6	97′ 55.2″
		1.08	105′ 10.0″
		0.72	128′ 58.9″
		0.45	135′ 40.0″
		0.34	152′ 33.6″

V	T	x	t
2530 ∿	2^{min}	84.91	$0^m\ 30^s$
		65.94	1′ 0″
		42.82	2′ 30.0″
		36.19	3′ 3.6″
		25.83	4′ 45.6″
		24.27	5′ 54.5″
		20.07	6′ 46.0″
		17.22	7′ 43.2″
		16.28	8′ 0.7″
		14.63	9′ 59.7″
		13.27	10′ 57.6″
		12.34	11′ 39.6″
		11.04	13′ 31.2″
		10.18	14′ 53.4″
		8.81	15′ 42.5″
		8.41	17′ 55.2″
		7.5	20′ 13.3″
		7.24	21′ 33.0″

V	T	x	t
2530 ∿	2^{min}	5.68	$24^m\ 57.3^s$
		5.29	29′ 12.2″
		4.34	30′ 25.9″
		3.46	35′ 50.4″
		3.01	41′ 41.1″
		2.59	46′ 57.0″
		1.94	55′ 28.0″
		1.5	65′ 40.7″
		1.17	70′ 24.0″
		1.04	78′ 6.9″
		0.73	86′ 24.0″
		0.54	91′ 31.3″
		0.46	98′ 3.9″
		0.14	115′ 12.0″

V	T	x	t
2040 ∿	2^{min}	65.46	$0^m\ 30^s$
		51.56	1′ 0″
		35.94	2′ 16.3″
		25.11	3′ 50.8″
		22.41	4′ 31.2″
		20.86	5′ 2.4″
		17.73	6′ 15.4″
		14.64	7′ 47.4″
		12.84	8′ 33.6″
		12.11	9′ 49.5″
		10.35	11′ 20.7″
		8.71	13′ 46.7″
		7.5	15′ 12.0″
		6.12	17′ 20.7″
		5.73	20′ 9.6″
		4.55	22′ 56.9″
		3.82	27′ 29.6″
		2.87	33′ 36.8″
		2.3	39′ 49.7″
		1.79	46′ 45.7″
		1.44	50′ 43.1″
		1.07	56′ 38.4″
		0.71	61′ 13.4″
		0.42	67′ 50.4″
		0.34	72′ 52.6″
		0.08	84′ 51.0″

V	T	x	t
1570 ∿	2^{min}	58.15	$0^m\ 30^s$
		45.1	1′ 0″
		28.11	2′ 36.0″
		24.66	3′ 8.4″
		19.1	4′ 7.2″
		15.53	5′ 54.3″
		13.06	6′ 38.4″
		12.93	7′ 0.2″
		11.03	8′ 26.1″

Kolophonium.

V	T	x	t
1570 V	2^{min}	9.84	9^m 31.2^s
		8.96	10′ 38.4″
		8.49	11′ 11.8″
		7.62	12′ 29.1″
		6.99	13′ 45.6″
		5.95	15′ 28.8″
		5.71	16′ 5.9″
		5.18	17′ 55.2″
		4.49	19′ 27.2″
		4.32	20′ 47.1″
		3.95	21′ 47.4″
		3.42	24′ 27.8″
		2.94	27′ 26.4″
		2.44	29′ 39.2″
		2.02	32′ 42.5″
		1.77	36′ 23.7″
		1.46	41′ 19.9″
		1.06	47′ 37.3″
		0.63	57′ 28.0″
		0.14	64′ 0″

V	T	x	t
950 V	2^{min}	51.56	0^m 30^s
		38.71	1′ 0″
		23.32	2′ 25.2″
		18.16	3′ 22.3″
		14.33	4′ 31.2″
		12.6	5′ 21.6″
		10.15	6′ 48.8″
		9.59	7′ 9.3″
		7.71	8′ 24.1″
		6.26	10′ 14.0″
		5.7	11′ 33.5″
		5.65	12′ 33.6″

V	T	x	t
950 V	2^{min}	4.41	14^m 0.9^s
		4.15	15′ 56.3″
		3.89	16′ 20.9″
		3.35	17′ 50.9″
		3.15	18′ 43.2″
		2.48	20′ 46.4″
		2.4	23′ 1.9″
		2.32	26′ 42.2″
		1.72	28′ 9.0″
		1.15	32′ 57.5′
		0.92	35′ 45.1″
		0.73	39′ 4.5′
		0.6	45′ 55.8″

V	T	x	t
460 V	2^{min}	26.29	0^m 30^s
		18.28	1′ 0″
		10.49	2′ 30.0″
		8.29	3′ 12.7″
		6.33	4′ 40.8″
		5.08	5′ 57.0″
		4.79	6′ 24.0″
		4.14	6′ 53.0″
		3.03	8′ 59.3″
		2.74	9′ 17.7″
		2.38	11′ 58.2″
		2.26	12′ 37.0″
		1.46	14′ 57.1″
		1.1	17′ 0.8″
		0.98	18′ 2.8″
		0.88	20′ 12.7″
		0.43	24′ 9.1″
		0.26	27′ 14.1″
		0.08	30′ 47.1″

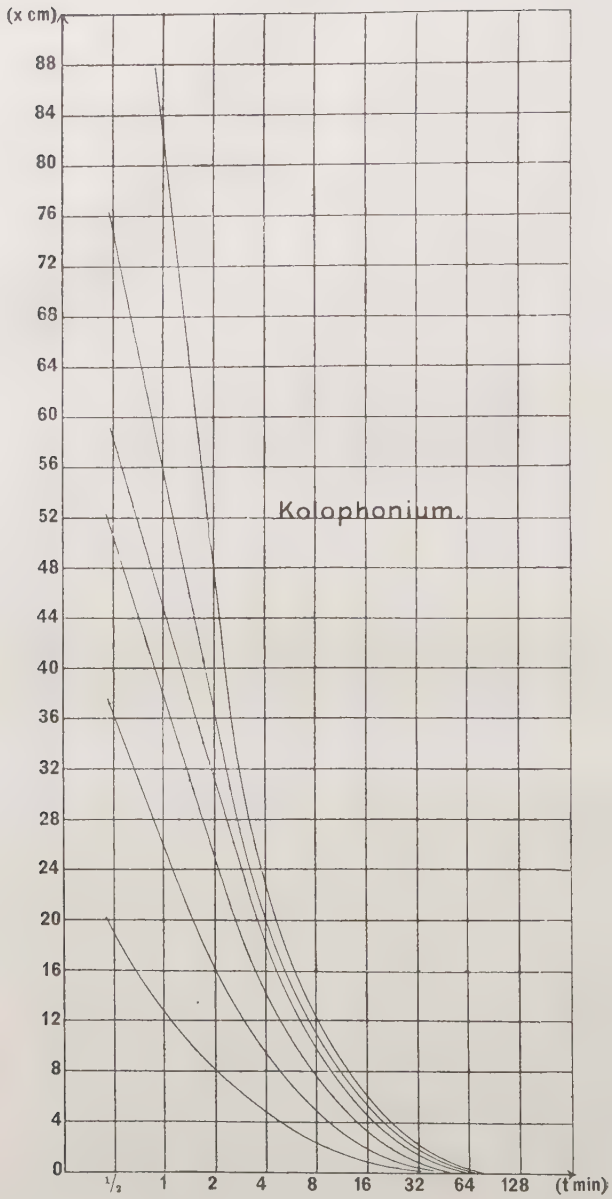

(x cm)
88
84
80
76
72
68
64
60
56
52
48
44
40
36
32
28
24
20
16
12
8
4
0
Kolophonium.
½
1
2
4
8
16
32
64
128
(t min)

Fig. 6. $T = 1^{min}$

Kolophonium.

V	T	x	t
3050 V	1 min	—	0m 30s
		82.09	1′ 0″
		41.84	2′ 28.1″
		34.38	2′ 45.6″
		28.39	3′ 19.2″
		20.46	4′ 36.0″
		17.23	5′ 33.1″
		14.29	6′ 50.4″
		11.24	8′ 12.8″
		10.34	9′ 40.8″
		8.88	11′ 25.6″
		7.65	12′ 56.6″
		7.42	13′ 28.7″
		6.44	14′ 57.6″
		5.69	16′ 6.2″
		5.34	17′ 39.3″
		5.22	18′ 9.4″
		4.79	19′ 50.4″
		4.37	21′ 0.3″
		3.93	22′ 26.1″
		3.7	24′ 9.6″
		3.43	25′ 3.7″
		2.91	27′ 35.1″
		2.62	28′ 43.5″
		2.51	30′ 13.2″
		2.28	31′ 58.9″
		2.11	33′ 41.6″
		1.86	34′ 49.7″
		1.53	38′ 25.7″
		1.5	39′ 22.1″
		1.49	41′ 24.1″
		1.18	45′ 35.1″
		0.73	51′ 27.0″
		0.67	54′ 30.0″
		0.33	60′ 44.2″
		0.05	69′ 55.0″

V	T	x	t
2480 V	1 min	74.9	0m 30s
		55.96	1′ 0″
		33.79	2′ 24.0″
		22.3	3′ 36.2″
		15.28	4′ 54.0″
		14.41	6′ 12.6″
		12.16	7′ 29.2″
		10.09	9′ 9.2″
		8.63	10′ 18.4″
		7.05	12′ 24.2″
		5.6	14′ 45.3″
		5.37	15′ 19.8″
		4.35	17′ 49.0″
		4.05	19′ 42.6″
		3.28	21′ 33.4″
		3.02	22′ 10.6″

V	T	x	t
2480 V	1 min	2.36	25m 59.0s
		2.24	27′ 0″
		1.94	32′ 11.4″
		1.27	36′ 56.1″
		1.15	39′ 22.3″
		0.81	44′ 48.0″
		0.57	48′ 2.1″
		0.22	55′ 21.6″
		0.1	58′ 9.2″
		0.05	59′ 54.6″

V	T	x	t
2030 V	1 min	58.28	0m 30s
		44.68	1′ 0″
		28.35	2′ 24.0″
		23.08	3′ 23.5″
		17.22	4′ 12.8″
		14.83	5′ 12.0″
		12.69	6′ 9.9″
		10.67	7′ 9.1″
		8.96	8′ 24.5″
		8.24	9′ 37.8″
		7.39	10′ 48.0″
		6.93	11′ 42.7″
		6.04	12′ 56.8″
		4.77	14′ 23.4″
		4.51	15′ 18.8″
		3.9	17′ 20.8″
		3.32	20′ 30.5″
		2.73	23′ 46.2″
		2.02	27′ 28.4″
		1.48	30′ 34.2″
		1.09	35′ 55.7″
		1.01	37′ 39.4″
		0.87	39′ 35.3″
		0.63	43′ 38.7″
		0.34	49′ 28.8″
		0.27	55′ 29.8″

V	T	x	t
1560 V	1 min	50.28	0m 30s
		37.69	1′ 0″
		24.0	2′ 12.0″
		16.35	3′ 25.3″
		12.04	4′ 48.0″
		11.72	5′ 9.6″
		8.93	6′ 26.8″
		8.22	7′ 14.8″
		5.95	8′ 59.4″
		5.4	10′ 23.6″
		5.08	11′ 13.8″
		4.68	12′ 0″
		3.74	13′ 59.4″

Kolophonium.

V	T	x	t
1560 V	1 min	3.36	14m 53.9s
		2.96	16′ 9.6″
		2.72	17′ 36.0″
		2.48	18′ 55.5″
		2.2	20′ 48.0″
		1.86	23′ 2.4″
		1.5	25′ 46.9″
		1.44	26′ 46.1″
		1.12	28′ 48.0″
		1.02	31′ 2.7″
		0.68	34′ 14.4″
		0.52	37′ 45.2″
		0.32	45′ 46.5″
		0.16	54′ 28.0″

V	T	x	t
970 V	1 min	36.6	0m 30s
		25.97	1′ 0″
		14.24	2′ 22.8″
		11.49	3′ 11.8″
		8.24	4′ 36.0″
		6.72	5′ 52.2″
		6.04	6′ 30.0″
		4.83	7′ 40.0″
		4.06	8′ 41.2″
		3.26	10′ 12.8″
		3.12	11′ 5.5″
		2.8	12′ 8.3″

V	T	x	t
970 V	1 min	2.51	13m 23.4s
		1.88	14′ 57.6″
		1.48	16′ 52.3″
		1.27	19′ 30.8″
		0.95	22′ 24.0″
		0.63	26′ 33.6″
		0.51	28′ 40.1″
		0.26	34′ 17.9″
		0.14	42′ 55.0″

V	T	x	t
450 V	1 min	18.81	0m 30s
		12.4	1′ 0″
		6.76	2′ 30.0″
		5.57	3′ 5.1″
		4.08	4′ 45.6″
		3.31	5′ 42.5″
		2.76	6′ 40.8″
		2.39	7′ 18.9″
		1.95	8′ 53.3″
		1.64	9′ 55.2″
		1.6	10′ 14.4″
		1.26	11′ 32.7″
		1.23	12′ 8.7″
		0.81	15′ 12.0″
		0.54	18′ 48.2″
		0.28	23′ 33.5″
		0.12	26′ 51.2″

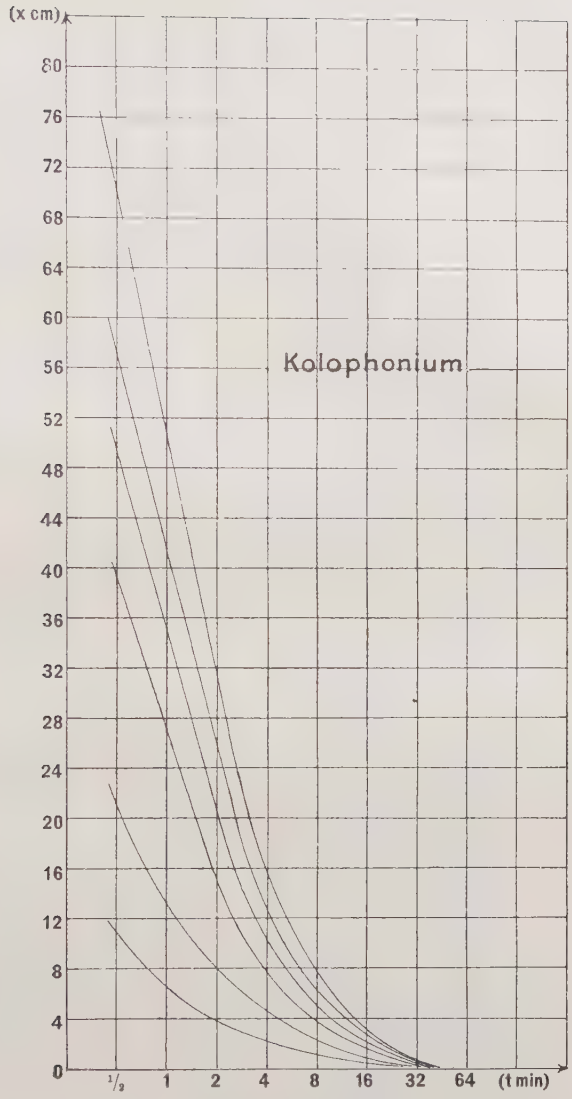


Fig. 7. $T = {}^{1}/_{2}{}^{\min}$

Kolophonium.

V	T	x	t	V	T	x	t
3080 V	$^{1}/_{2}{}^{\min}$	69.77	$0^{m}\ 30^{s}$	3080 V	$^{1}/_{2}{}^{\min}$	11.26	$5^{m}\ 57.6^{s}$
		50.8	1′ 0″			9.71	6′ 39.8″
		28.61	2′ 24.0″			8.16	7′ 36.0″
		17.81	3′ 30.8″			6.61	8′ 57.8″
		14.4	4′ 24.8″			6.54	9′ 25.6″

Kolophonium.

V	T	x	t
3080 V	$^1/_2$ min	5.89	10^m 44.5^s
		5.17	11′ 51.8″
		4.77	12′ 19.3″
		4.0	13′ 52.7″
		3.7	14′ 31.7″
		3.52	15′ 4.7″
		3.01	16′ 10.9″
		2.8	17′ 48.7″
		2.48	18′ 52.6″
		2.13	21′ 34.5″
		1.95	23′ 36.4″
		1.57	26′ 47.7″
		1.09	28′ 57.6″
		0.92	32′ 36.0″
		0.8	36′ 24.0″
		0.65	40′ 10.2″
		0.44	46′ 15.5″
		0.27	52′ 48.0″
		0.06	58′ 6.1″

V	T	x	t
2505 V	$^1/_2$ min	57.4	0^m 30^s
		41.52	1′ 0″
		23.37	2′ 18.0″
		15.66	3′ 20.8″
		10.67	4′ 24.1″
		8.78	5′ 49.9″
		7.37	6′ 34.2″
		6.55	7′ 8.7″
		5.98	8′ 8.5″
		5.1	9′ 34.2″
		4.58	10′ 37.8″
		4.28	11′ 41.4″
		3.96	12′ 33.6″
		3.6	13′ 9.7″
		3.03	14′ 48.0″
		2.63	15′ 52.2″
		2.59	16′ 9.6″
		2.37	17′ 46.1″
		2.2	18′ 4.8″
		1.86	20′ 48.0″
		1.59	23′ 22.5″
		1.42	24′ 46.5″
		1.1	27′ 19.0″
		0.67	32′ 20.4″
		0.37	37′ 29.6″
		0.23	45′ 56.8″

V	T	x	t
2030 V	$^1/_2$ min	49.71	0^m 30^s
		34.8	1′ 0″
		19.11	2′ 12.0″
		12.06	3′ 17.8″

V	T	x	t
2030 V	$^1/_2$ min	9.23	4^m 24.0^s
		6.95	5′ 58.6″
		5.72	7′ 14.8″
		4.9	8′ 1.5″
		4.47	9′ 12.0″
		4.0	10′ 23.6″
		3.65	11′ 14.6″
		3.08	12′ 33.5″
		2.89	13′ 18.1″
		2.37	14′ 51.0″
		2.15	15′ 55.2″
		2.01	16′ 40.4″
		1.76	18′ 3.0″
		1.33	21′ 43.5″
		0.99	25′ 29.0″
		0.72	27′ 55.2″
		0.36	33′ 49.8″
		0.24	36′ 48.0″

V	T	x	t
1590 V	$^1/_2$ min	39.8	0^m 30^s
		27.4	1′ 0″
		13.47	2′ 12.0″
		9.8	3′ 1.1″
		6.05	4′ 48.0″
		5.03	5′ 59.7″
		4.69	6′ 12.0″
		3.76	7′ 26.4″
		3.31	8′ 49.9″
		2.95	9′ 21.6″
		2.67	10′ 43.2″
		2.42	11′ 16.9″
		2.15	12′ 19.2″
		1.91	13′ 7.2″
		1.6	14′ 39.4″
		1.32	15′ 55.2″
		1.17	17′ 14.0″
		0.96	19′ 41.2″
		0.81	22′ 13.0″
		0.49	26′ 59.7″
		0.32	30′ 12.7″
		0.1	36′ 46.1″

V	T	x	t
950 V	$^1/_2$ min	21.96	0^m 30^s
		13.04	1′ 0″
		6.6	2′ 30.0″
		5.86	2′ 56.6″
		5.32	3′ 20.1″
		3.84	4′ 45.6″
		3.36	5′ 25.9″
		2.8	6′ 17.4″
		2.19	7′ 32.9″

Kolophonium.

V	T	x	t
950 V	$^1/_2$ min	1.94	8^m 52.4^s
		1.84	9′ 7.2″
		1.5	10′ 25.1″
		1.09	13′ 7.7″
		0.96	13′ 54.8″
		0.74	16′ 1.1″
		0.7	16′ 8.3″
		0.44	20′ 57.6″
		0.32	25′ 26.4″
		0.16	30′ 24.0″

V	T	x	t
460 V	$^1/_2$ min	10.76	0^m 30^s
		6.24	1′ 0″

V	T	x	t
460 V	$^1/_2$ min	2.71	2^m 46.2^s
		2.56	3′ 16.8″
		1.71	4′ 35.4″
		1.59	5′ 34.6″
		1.44	6′ 23.7″
		1.16	7′ 36.0″
		1.09	8′ 21.0″
		0.92	9′ 12.6″
		0.84	10′ 39.2″
		0.68	12′ 18.6″
		0.53	13′ 53.6″
		0.4	15′ 31.3″
		0.22	20′ 19.7″

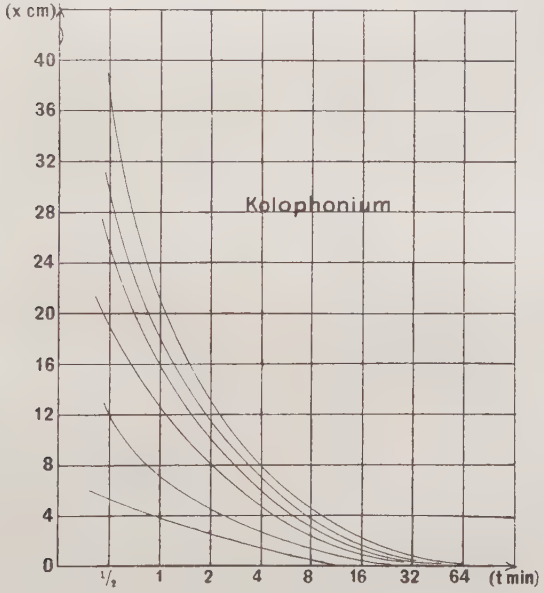


Fig. 8. T = $^1/_4$ min

Kolophonium.

V	T	x	t
3080 V	$^1/_4$ min	37.23	0^m 30^s
		21.08	1′ 0″
		11.4	2′ 36.0″
		9.57	3′ 16.4″
		7.46	4′ 31.2″
		6.89	5′ 9.6″
		5.74	6′ 12.8″

V	T	x	t
3080 V	$^1/_4$ min	4.95	7^m 33.6^s
		4.31	8′ 38.6″
		4.05	9′ 19.7″
		3.84	10′ 24.0″
		3.4	11′ 36.2″
		3.2	12′ 17.3″
		2.88	13′ 43.1″

Kolophonium.

V	T	x	t
3080 $\sqrt{V}$	$^1/_4$ min	2.62	14^m 2.2^s
		2.03	17′ 42.9″
		1.66	20′ 58.8″
		1.59	22′ 21.0″
		1.21	25′ 43.4″
		1.14	28′ 6.0″
		0.77	32′ 57.4″
		0.62	38′ 21.1″
		0.44	43′ 12.0″
		0.32	48′ 15.9″
		0.07	58′ 33.3″

V	T	x	t
2505 $\sqrt{V}$	$^1/_4$ min	29.08	0^m 30^s
		17.92	1′ 0″
		9.88	2′ 30.0″
		7.8	3′ 27.8″
		6.52	4′ 14.4″
		5.1	5′ 43.1″
		4.84	6′ 2.5″
		3.96	7′ 36.0″
		3.55	8′ 6.6″
		3.12	9′ 11.3″
		3.04	10′ 0″
		2.53	11′ 41.2″
		2.44	12′ 2.2″
		1.95	14′ 49.4″
		1.65	15′ 46.4″
		1.42	19′ 28.3″
		1.13	22′ 26.0″
		0.76	27′ 59.5″
		0.47	35′ 9.1″
		0.29	42′ 22.5″
		0.11	51′ 2.7″
		0.04	62′ 12.4″

V	T	x	t
2030 $\sqrt{V}$	$^1/_4$ min	25.11	0^m 30^s
		15.96	1′ 0″
		8.71	2′ 30.0″
		6.7	3′ 26.6″
		5.52	4′ 21.6″
		4.36	5′ 47.7″
		4.05	6′ 13.5″
		3.32	7′ 36.0″
		2.82	8′ 45.8″
		2.72	9′ 12.3″
		2.56	10′ 4.8″
		2.23	11′ 27.5″
		1.49	15′ 10.4″
		1.02	19′ 21.6″
		0.63	25′ 5.8″
		0.33	32′ 17.3″
		0.13	39′ 37.1″
		0.04	49′ 38.5″

V	T	x	t
1590 $\sqrt{V}$	$^1/_4$ min	19.09	0^m 30^s
		12.56	1′ 0″
		7.48	2′ 12.0″
		4.64	3′ 58.2
		4.01	4′ 45.6″
		3.41	5′ 40.2″
		3.11	6′ 20.7″
		2.64	7′ 17.9″
		2.28	8′ 4.8″
		1.89	9′ 12.3″
		1.8	10′ 24.0″
		1.64	11′ 3.8″
		1.4	12′ 8.4″
		1.06	14′ 20.7″
		0.84	17′ 15.3′
		0.54	22′ 36.0″
		0.51	23′ 21.7″
		0.2	28′ 43.5″
		0.04	34′ 20.0′

V	T	x	t
950 $\sqrt{V}$	$^1/_4$ min	12.22	0^m 30^s
		7.0	1′ 0″
		3.43	2′ 58.0″
		3.24	3′ 4.5″
		2.36	4′ 48.0″
		2.18	5′ 10.1″
		1.87	6′ 10.7″
		1.49	7′ 31.1′
		1.28	8′ 27.0″
		1.1	9′ 36.2″
		1.08	10′ 4.8″
		0.84	12′ 32.1″
		0.62	14′ 4.2″
		0.54	15′ 55.5″
		0.44	17′ 10.1″
		0.37	19′ 18.0″
		0.16	22′ 42.5″
		0.07	26′ 17.2″

V	T	x	t
460 $\sqrt{V}$	$^1/_4$ min	5.82	0^m 30^s
		3.88	1′ 0″
		1.96	2′ 39.0″
		1.68	3′ 12.0″
		1.12	4′ 49.9″
		0.88	5′ 36.0″
		0.8	6′ 2.4″
		0.62	7′ 4.1″
		0.34	8′ 58.3″
		0.29	9′ 24.7″
		0.24	10′ 56.7″
		0.15	12′ 20.8″

Die Nachwirkungskurven des Kolophoniums klingen außerordentlich schnell ab. Nach 3 Stunden beobachten wir sowohl bei einer Expositionszeit von 3 Minuten und einer Spannung von — 1620 Volt als auch bei einer solchen von 2 Minuten und — 3150 Volt keinen erheblichen Ausschlag. Bei kleinen Expositionszeiten T und Spannungen V erreichen wir nach kurzer Zeit den Nullpunkt; z. B. für $T = {}^1/_4$ Minute und $V = -490$ Volt ist nach $t = 13$ Minuten die Nachwirkung zu Ende.

Ein ähnliches Verhalten zeigt Ebonit.

Ebonit.

V	T	x	t
1670 V	3 min	89.91	0m 30s
		66.28	1′ 0″
		44.2	2′ 12.0″
		35.16	3′ 35.7″
		31.0	4′ 36.0″
		28.33	5′ 38.4″
		26.6	6′ 13.5″
		24.69	7′ 9.3″
		22.68	8′ 9.6″
		21.21	9′ 21.2″
		20.28	10′ 39.2″
		18.49	12′ 25.7″
		15.96	15′ 40.0″
		14.43	18′ 46.8″
		13.19	21′ 55.9″
		12.09	24′ 48.7″
		11.0	28′ 21.3″
		10.31	31′ 56.4″
		9.08	35′ 8.0″
		8.44	39′ 42.1″
		7.68	44′ 44.0″
		7.2	51′ 4.5″
		5.87	58′ 39.4″
		5.38	66′ 42.0″
		4.79	76′ 7.3″
		3.95	88′ 37.2″
		2.96	101′ 1.5″
		2.68	114′ 10.9″
		2.0	129′ 53.7″
		1.34	171′ 21.5″
		0.79	204′ 59.6″
		0.56	225′ 48.2″
		0.34	239′ 42.2″
		0.15	254′ 38.6″
		0.02	269′ 48.3″

V	T	x	t
1000 V	3 min	52.09	0m 30s
		37.53	1′ 0″
		25.49	2′ 9.6″

V	T	x	t
1000 V	3 min	20.34	3m 26.4s
		17.44	4′ 31.2″
		16.56	5′ 2.4″
		13.88	6′ 58.9″
		13.36	7′ 3.0″
		11.91	8′ 14.4″
		10.8	9′ 57.8″
		10.16	10′ 52.8″
		9.52	11′ 49.7″
		8.52	13′ 41.4″
		7.6	15′ 28.7″
		6.99	16′ 38.7″
		6.18	19′ 55.1″
		5.43	23′ 20.3″
		4.36	29′ 13.3″
		3.96	33′ 2.3″
		3.4	37′ 57.2″
		2.83	44′ 56.9″
		2.29	50′ 48.2″
		1.9	56′ 20.1″
		1.74	61′ 54.7″
		1.36	71′ 14.7″
		1.03	83′ 4.7″
		0.47	117′ 24.4″
		0.32	131′ 6.8″
		0.12	152′ 31.4″

V	T	x	t
490 V	3 min	29.41	0m 30s
		21.64	1′ 0″
		15.68	2′ 1.2″
		11.76	3′ 38.2″
		10.64	4′ 24.0″
		9.3	5′ 39.9″
		8.68	6′ 31.1″
		8.08	7′ 12.0″
		7.57	8′ 0.9″
		6.58	9′ 52.6″
		6.42	10′ 36.6″
		5.49	13′ 11.7″

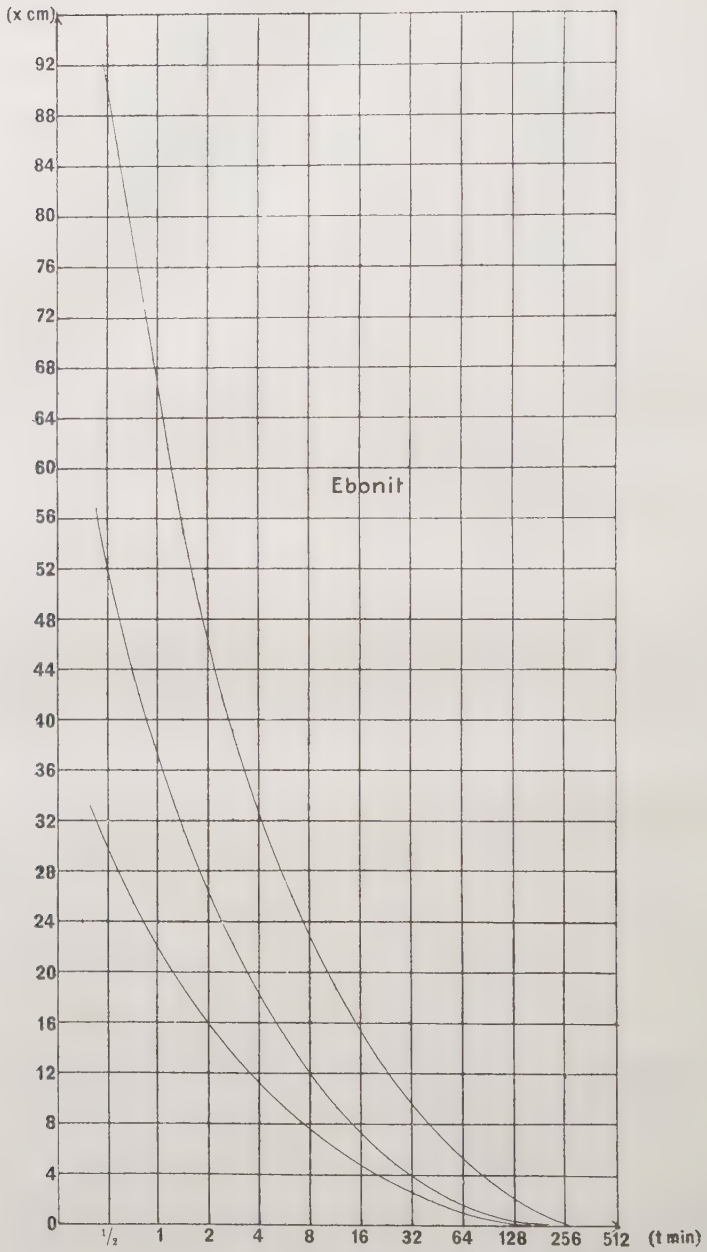

(x cm)
92
88
84
80
76
72
68
64
60
56
52
48
44
40
36
32
28
24
20
16
12
8
4
0
Ebonit
1/2
1
2
4
8
16
32
64
128
256
512
(t min)

Fig. 9. $T = 3^{min}$

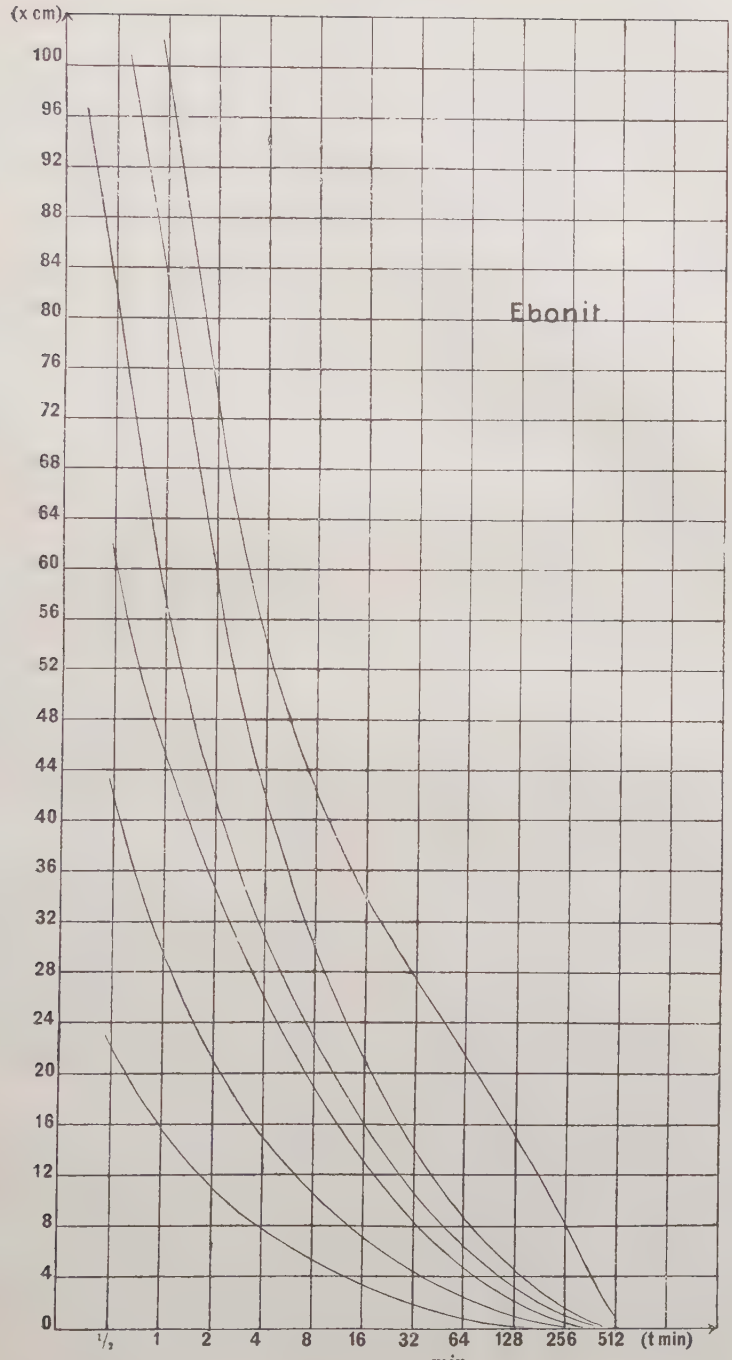


Fig. 10. $T = 2^{min}$ 3

Ebonit.

V	T	x	t
490 ⩛	3min	4.65	15m 50.4s
		4.46	16′ 53.4″
		3.89	21′ 14.7″
		3.14	26′ 4.6″
		2.59	32′ 1.1″
		2 28	36′ 48.0″
		2.04	40′ 3.9″
		1.63	48′ 28.0″
		1.31	56′ 0″
		1.08	60′ 24.1″
		0.88	68′ 28.8″
		0.73	75′ 36.2″
		0.55	88′ 47.9″
		0.43	94′ 4.6″
		0.28	113′ 3.5″
		0.14	132′ 14.6″

V	T	x	t
3210 ⩛	2min	—	0m 30s
		98.4	1′ 0″
		68.33	2′ 30.0″
		61.12	3′ 7.8″
		53.24	4′ 2.4″
		47.07	5′ 58.4″
		45.88	6′ 24.0″
		43.76	7′ 7.2″
		41.52	8′ 4.8″
		39.82	9′ 48.1″
		38.56	10′ 48.0″
		37.48	11 55.2″
		36.38	13′ 0.5″
		34.4	15′ 12.0″
		33.5	17′ 8.0″
		32.36	19′ 2.4″
		31.49	21′ 18.4″
		29.39	26′ 40.4″
		27.68	32′ 57.6″
		26.26	39′ 2.6″
		25.12	44′ 28.8″
		24.64	47′ 3.9″
		22.62	57′ 26.9″
		20.84	69′ 13.1″
		19.63	82′ 11.9″
		18.46	94′ 45.8″
		16.64	113′ 5.3″
		15.36	125′ 38.2″
		12.51	177′ 20.9″
		11.15	203′ 9.3″
		10.18	224′ 51.3″
		9.35	241′ 56.1″
		7.53	260′ 6.1″
		6.0	316′ 55.1″
		4.39	359′ 3.3″
		2.93	406′ 33.5″

V	T	x	t
3210 ⩛	2min	1.58	453m 4.5s
		1.08	478′ 32.1″
		0.98	509′ 50.1″
		0.4	541′ 10.9″
		0.08	559′ 52.3″

V	T	x	t
2630 ⩛	2min	—	0m 30s
		82.8	1′ 0″
		54.4	2′ 22.8″
		47.75	3′ 7.8″
		40.35	4′ 14.4″
		37.4	5′ 12.0″
		31.99	6′ 59.2″
		31.48	7′ 16.8″
		29.4	8′ 4.8″
		27.87	9′ 26.4″
		26.85	10′ 10.9″
		24.88	12′ 4.8″
		22.0	14′ 58.0″
		20.4	17′ 55.2″
		19.13	19′ 48.5″
		17.06	24′ 3.5″
		15.28	28′ 48.0″
		13.96	32′ 16.5″
		12.64	39′ 40.8″
		11.37	46′ 52.9″
		10.08	54′ 24.0″
		8.57	64′ 16.7″
		7.64	74′ 52.8″
		7.29	81′ 26.5″
		6.08	97′ 25.9″
		5.27	110′ 4.8″
		4.61	121′ 6.3″
		3.88	137′ 5.5″
		3.2	163′ 0.9″
		2.49	190′ 36.6″
		1.83	225′ 1.0″
		1.54	261′ 25.3″
		1.07	292′ 51.4″
		0.6	353′ 35.2″
		0.39	391′ 22.8‴

V	T	x	t
2160 ⩛	2min	81.8	0m 30s
		56.8	1′ 0″
		39.6	2′ 19.2″
		31.6	3′ 50.7″
		29.92	4′ 21.6″
		28.04	5′ 12.0″
		24.56	6′ 54.0″
		23.31	7′ 33.6″
		22.32	8′ 4.8″

Ebonit.

V	T	x	t
2160 ∀	2^{min}	21.1	9^m 28.4^s
		20.32	10′ 24.0″
		18.3	12′ 42.3″
		17.08	14′ 28.8″
		15.86	16′ 9.1″
		14.8	18′ 46.8″
		13.56	21′ 17.0″
		12.19	26′ 20.4″
		10.84	30′ 24.0″
		10.08	34′ 20.5″
		9.69	42′ 57.0″
		8.04	48′ 57.6″
		7.19	54′ 50.2″
		6.6	60′ 9.6″
		5.84	69′ 53.2″
		4.88	88′ 5.6″
		4.23	100′ 1.4″
		3.33	117′ 50.0″
		2.66	139′ 51.2″
		2.12	171′ 39.2″
		1.64	201′ 56.7″
		0.96	245′ 45.6″
		0.84	258′ 33.6″
		0.63	294′ 24.0″
		0.32	353′ 35.2″

V	T	x	t
1670 ∀	2^{min}	60.67	0^m 30^s
		45.09	1′ 0″
		32.0	2′ 30.0″
		29.33	3′ 1.2″
		24.44	4′ 35.8″
		22.75	5′ 28.8″
		21.8	6′ 2.4″
		19.28	7′ 36.0″
		17.92	8′ 48.0″
		17.35	9′ 31.2″
		16.12	10′ 57.6″
		14.97	12′ 38.4″
		13.85	14′ 24.0″
		12.68	16′ 9.6″
		11.97	18′ 24.0″
		10.91	21′ 55.2″
		9.96	24′ 57.6″
		8.92	28′ 38.4″
		7.6	35′ 50.4″
		6.79	42′ 33.6″
		5.51	50′ 52.8″
		4.96	59′ 31.2″
		4.16	70′ 24.0″
		3.64	84′ 28.8″
		3.03	99′ 12.0″
		2.65	111′ 21.6″
		1.96	130′ 33.6″

V	T	x	t
1670 ∀	2^{min}	1.68	152^m 19.2^s
		1.2	185′ 36.0″
		0.84	220′ 9.6″
		0.4	273′ 55.2″

V	T	x	t
1020 ∀	2^{min}	41.39	0^m 30^s
		29.48	1′ 0″
		19.12	2′ 36.0″
		16.52	3′ 27.2″
		14.52	4′ 24.0″
		13.57	5′ 7.2″
		12.6	6′ 5.8″
		11.32	7′ 9.6″
		10.39	8′ 4.8″
		9.64	9′ 36.0″
		9.29	10′ 9.7″
		8.44	12′ 14.4″
		7.35	15′ 12.3″
		6.48	18′ 24.0″
		6.04	20′ 37.2″
		5.54	24′ 5.3″
		4.83	28′ 0″
		4.28	31′ 40.0″
		3.99	34′ 33.6″
		3.88	37′ 7.2″
		3.79	39′ 5.1″
		3.3	44′ 27.0″
		2.64	56′ 57.2″
		2.04	66′ 33.6″
		1.88	72′ 44.4″
		1.56	86′ 24.0″
		1.36	96′ 0″
		1.08	108′ 48.0″
		0.88	120′ 19.2″
		0.64	144′ 38.4″
		0.44	174′ 4.8″

V	T	x	t
490 ∀	2^{min}	22.34	0^m 30^s
		15.68	1′ 0″
		10.64	2′ 12.0″
		8.94	3′ 7.9″
		7.48	4′ 2.4″
		6.57	5′ 30.3″
		6.24	6′ 4.8″
		5.64	7′ 9.6″
		5.02	8′ 35.4″
		4.8	9′ 26.4″
		4.48	10′ 48.0″
		3.98	12′ 44.0″
		3.76	14′ 0″
		3.21	16′ 19.4″

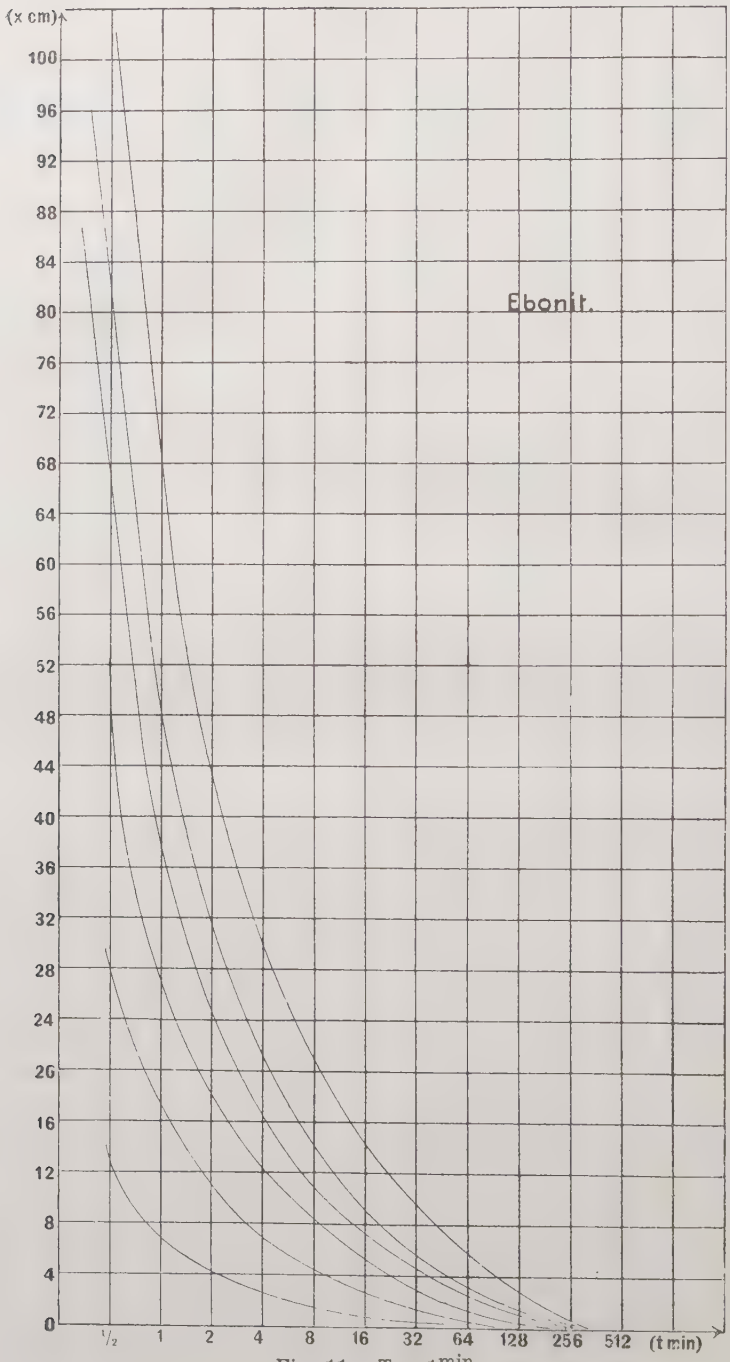

(x cm)
100
96
92
88
84
80
76
72
68
64
60
56
52
48
44
40
36
32
28
24
20
16
12
8
4
0
Ebonit.
½
1
2
4
8
16
32
64
128
256
512
(t min)

Fig. 11. $T = 1^{min}$

Ebonit.

V	T	x	t
490 V	2^{min}	2.96	18^m 52.8^s
		2.81	21′ 14.0″
		2.28	25′ 26.4″
		2.12	28′ 9.6″
		1.76	33′ 19.3″
		1.52	38′ 24.0″
		1.36	43′ 12.0″
		1.08	50′ 14.4″
		0.88	58′ 33.6″
		0.77	68′ 14.1″
		0.64	75′ 31.2″
		0.48	84′ 0.1″
		0.28	100′ 52.4″
		0.04	125′ 18.5″

V	T	x	t
3210 V	1^{min}	—	0^m 30^s
		69.0	1′ 0″
		36.77	2′ 57.4″
		31.96	3′ 32.4″
		27.89	4′ 38.4″
		26.52	5′ 12.0″
		24.37	6′ 3.0″
		21.32	7′ 28.8″
		21.07	8′ 4.8″
		19.62	9′ 9.2″
		19.44	10′ 0″
		17.72	11′ 45.6″
		16.43	12′ 37.8″
		15.92	14′ 4.8″
		14.67	15′ 55.2″
		13.9	17′ 34.0″
		13.08	19′ 50.4″
		12.07	22′ 55.1″
		11.52	25′ 7.2″
		10.57	28′ 0.9″
		9.53	32′ 45.7″
		9.24	35′ 12.0″
		8.58	39′ 36.0″
		8.16	43′ 12.0″
		7.67	47′ 16.9″
		6.79	54′ 37.9″
		5.72	66′ 38.0″
		4.96	80′ 38.4″
		4.06	96′ 38.0″
		3.44	112′ 0″
		3.06	126′ 52.2″
		2.45	148′ 13.6″
		1.84	188′ 9.6″
		1.36	208′ 31.3″
		1.13	235′ 33.9″
		0.71	265′ 1.2″
		0.53	296′ 57.6″
		0.24	338′ 21.8″

V	T	x	t
2630 V	1^{min}	81.75	0^m 30^s
		48.28	1′ 0″
		26.72	2′ 49.2″
		22.0	3′ 49.0″
		19.76	4′ 40.8″
		17.85	5′ 43.2″
		16.0	6′ 41.7″
		15.02	7′ 21.6″
		13.92	8′ 9.6″
		13.07	9′ 13.7″
		11.97	10′ 57.6″
		11.19	12′ 6.5″
		10.28	13′ 55.2″
		9.39	15′ 19.4″
		8.4	18′ 43.2″
		7.8	21′ 16.0″
		7.05	24′ 55.1″
		6.52	27′ 2.4″
		5.84	30′ 22.6″
		5.11	36′ 30.7″
		4.39	43′ 22.7″
		3.63	52′ 41.7″
		3.16	60′ 57.8″
		2.72	73′ 4.6″
		2.68	85′ 45.6″
		2.25	90′ 18.9″
		1.83	102′ 27.5″
		1.47	122′ 16.7″
		1.17	138′ 45.0″
		1.08	152′ 19.2″
		0.75	189′ 26.4″
		0.68	200′ 57.6″
		0.32	248′ 19.2″

V	T	x	t
2160 V	1^{min}	66.63	0^m 30^s
		38.04	1′ 0″
		21.81	2′ 30.0″
		18.5	3′ 15.9″
		15.16	4′ 33.6″
		14.44	5′ 2.4″
		12.4	6′ 36.6″
		11.64	7′ 9.6″
		10.63	8′ 19.2″
		9.84	9′ 49.2″
		9.56	10′ 28.8″
		8.56	12′ 48.5″
		7.04	16′ 50.6″
		6.45	20′ 18.0″
		5.52	25′ 26.4″
		4.8	30′ 4.8″
		4.24	35′ 50.4″
		3.99	40′ 19.2″

Ebonit.

V	T	x	t
2160 V	1 min	3.32	48 m 57.6 s
		2.68	59′ 31.2″
		2.27	68′ 28.8″
		2.04	77′ 26.4″
		1.86	89′ 36.0″
		1.6	98′ 33.6″
		1.35	112′ 0″
		1.01	130′ 33.6″
		0.76	156′ 9.6″
		0.64	180′ 28.8″
		0.44	211′ 12.0″
		0.28	236′ 48.0″

V	T	x	t
1650 V	1 min	49.2	0 m 30 s
		26.63	1′ 0″
		14.68	2′ 59.9″
		12.08	3′ 56.8″
		11.52	4′ 24.0″
		10.56	5′ 16.8″
		9.24	6′ 33.2″
		8.64	7′ 14.4″
		7.92	8′ 9.6″
		7.28	9′ 31.2″
		6.97	10′ 12.2″
		6.28	11′ 58.7″
		5.52	13′ 54.5″
		5.08	15′ 21.6″
		4.66	17′ 57.4″
		4.44	19′ 2.4″
		4.03	21′ 15.1″
		3.98	22′ 25.0″
		3.56	25′ 26.4″
		3.24	28′ 54.4″
		2.88	32′ 19.2″
		2.72	35′ 20.1″
		2.64	36′ 25.9″
		2.36	40′ 57.6″
		2.24	45′ 41.7″
		2.06	47′ 35.2″
		2.0	49′ 58.6″
		1.54	58′ 0.6″
		1.28	65′ 55.2″
		1.1	72′ 31.7″
		1.02	75′ 6.5″
		0.75	88′ 0.7″
		0.68	99′ 50.4″
		0.55	103′ 21.9″
		0.48	114′ 33.6″
		0.22	123′ 38.5″
		0.19	134′ 24.0″
		0.07	145′ 37.4″

V	T	x	t
980 V	1 min	27.92	0 m 30 s
		16.92	1′ 0″
		10.72	2′ 12.0″
		8.02	3′ 13.2″
		6.44	4′ 26.4″
		5.43	5′ 37.2″
		5.24	6′ 7.2″
		4.56	7′ 9.6″
		4.01	8′ 22.8″
		3.88	9′ 16.8″
		3.48	10′ 33.6″
		3.3	11′ 10.8″
		2.83	14′ 22.8″
		2.52	16′ 57.6″
		2.28	19′ 22.5″
		1.89	24′ 38.4″
		1.74	26′ 11.5″
		1.52	29′ 16.8″
		1.34	33′ 11.0″
		1.16	37′ 26.4″
		1.0	43′ 50.2″
		0.8	49′ 55.2″
		0.62	56′ 1.4″
		0.44	64′ 0″
		0.28	72′ 19.2″
		0.12	85′ 45.6″

V	T	x	t
490 V	1 min	12.45	0 m 30 s
		6.56	1′ 0″
		3.16	2′ 59.2″
		2.76	3′ 34.8″
		2.44	4′ 21.6″
		2.12	5′ 51.1″
		1.97	6′ 21.9″
		1.86	7′ 7.2″
		1.55	8′ 56.4″
		1.52	9′ 24.8″
		1.44	10′ 57.6″
		1.27	12′ 24.8″
		1.19	13′ 16.9″
		0.91	17′ 59.1″
		0.8	20′ 38.4″
		0.77	23′ 20.4″
		0.65	27′ 31.2″
		0.5	34′ 59.1″
		0.36	40′ 19.2″
		0.18	49′ 55.2″
		0.08	56′ 18.4″

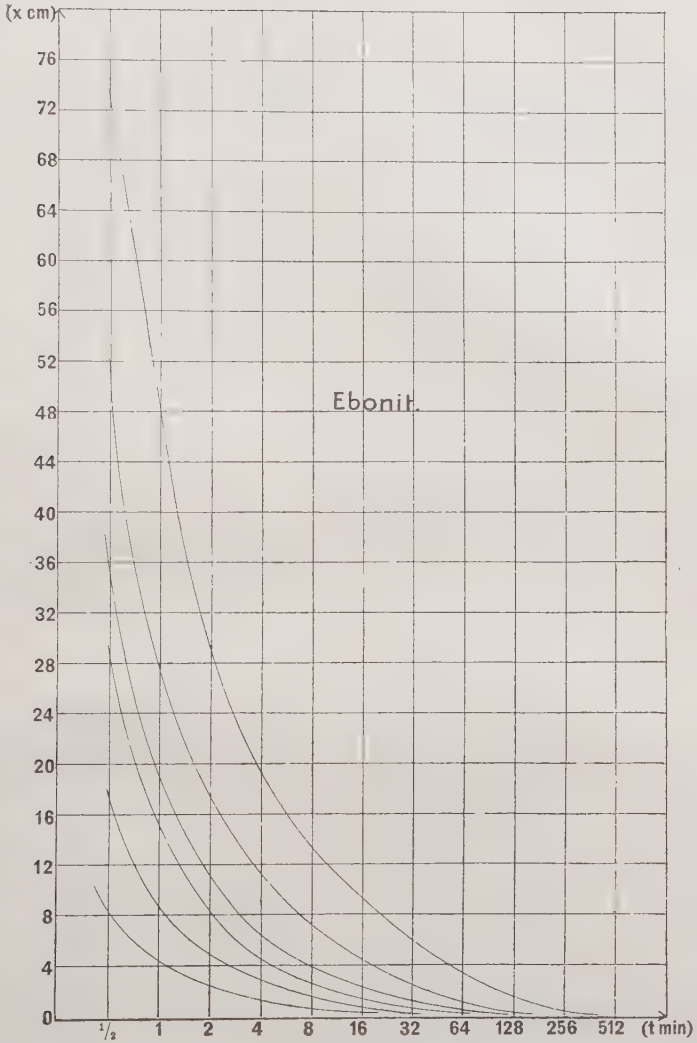


Fig. 12. $T = {}^{1}/_{2}\,\text{min}$

Ebonit.

V	T	x	t	V	T	x	t
3210 V	$^{1}/_{2}$ min	72.4	$0^{m}\ 30^{s}$	3210 V	$^{1}/_{2}$ min	13.8	$7^{m}\ 43.2^{s}$
		48.06	1′ 0″			13.2	8′ 14.4″
		27.03	2′ 19.2″			12.44	9′ 50.4″
		20.23	3′ 43.5″			11.89	10′ 43.7″
		18.72	4′ 12.0″			11.28	12′ 4.8″
		17.47	5′ 2.4″			10.21	14′ 3.3″
		14.5	6′ 54.0″			9,1	16′ 28.8″

Ebonit.

V	T	x	t
3210 V	$^1/_2$ min	8.72	18m 14.7s
		8.32	20′ 19.2″
		8.0	22′ 2.5″
		7.28	25′ 35.5″
		6.4	29′ 43.9″
		5.74	33′ 56.4″
		5.27	38′ 40.9″
		4.96	43′ 7.4″
		4.48	48′ 37.5″
		4.09	53′ 49.1″
		3.47	63′ 52.5″
		2.92	74′ 51.5″
		2.4	92′ 53.1″
		1.87	112′ 38.4″
		1.32	131′ 50.4″
		1.04	160′ 0″
		0.84	186′ 52.8″
		0.68	197′ 7.2″
		0.52	222′ 43.2″
		0.4	250′ 52.8″

V	T	x	t
2630 V	$^1/_2$ min	51.89	0m 30s
		28.0	1′ 0″
		16.76	2′ 13.2″
		11.46	3′ 55.6″
		10.76	4′ 26.4″
		9.96	5′ 7.2″
		8.32	6′ 37.2″
		7.55	7′ 30.6″
		7.2	8′ 4.8″
		6.76	9′ 16.8″
		6.26	10′ 29.9″
		5.64	12′ 33.6″
		5.04	14′ 18.2″
		4.48	16′ 9.6″
		4.21	18′ 15.9″
		3.87	21′ 22.6″
		3.31	25′ 19.6″
		2.6	30′ 47.2″
		2.36	34′ 14.4″
		2.18	38′ 59.7″
		1.72	47′ 19.8″
		1.16	58′ 52.8″
		0.9	69′ 1.6″
		0.77	76′ 55.2″
		0.68	82′ 33.6″
		0.59	90′ 21.6″
		0.44	104′ 43.8″
		0.29	126′ 21.6″
		0.12	156′ 9.6″

V	T	x	t
2160 V	$^1/_2$ min	35.19	0m 30s
		18.96	1′ 0″
		10.2	2′ 18.0″
		7.53	3′ 22.8″
		6.1	4′ 9.7″
		5.19	5′ 38.4″
		4.92	6′ 2.4″
		4.08	7′ 32.2″
		3.88	8′ 43.2″
		3.67	9′ 26.4″
		3.44	10′ 40.8″
		3.03	12′ 57.6″
		2.57	15′ 33.7″
		2.28	18′ 4.8″
		2.07	20′ 34.9″
		1.84	24′ 5.5″
		1.42	29′ 5.1″
		1.08	34′ 42.5″
		1.03	38′ 24.0″
		0.78	44′ 45.0″
		0.69	50′ 53.4″
		0.4	60′ 2.4″
		0.28	69′ 7.2″
		0.16	76′ 16.5″

V	T	x	t
1660 V	$^1/_2$ min	28.45	0m 30s
		15.12	1′ 0″
		7.56	2′ 18.0″
		5.44	3′ 25.0″
		4.32	4′ 9.6″
		3.73	5′ 21.6″
		3.32	6′ 4.8″
		3.02	7′ 0.8″
		2.56	8′ 48.0″
		2.48	9′ 31.2″
		2.28	10′ 40.8″
		1.99	12′ 43.2″
		1.65	14′ 45.3″
		1.27	19′ 10.7″
		0.87	25′ 51.5″
		0.66	32′ 0″
		0.56	37′ 13.3″
		0.44	44′ 9.6″
		0.32	49′ 36.6″
		0.16	58′ 52.8″

V	T	x	t
1020 V	$^1/_2$ min	17.04	0m 30s
		8.63	1′ 0″
		4.44	2′ 10.8″
		3.32	3′ 16.6″
		2.59	4′ 40.8″

Ebonit.

V	T	x	t
1020 V	1/2 min	2.29	5m 31.2s
		2.05	6′ 21.6″
		1.78	7′ 16.8″
		1.56	8′ 13.7″
		1.4	9′ 2.4″
		1.32	10′ 0″
		1.07	11′ 25.1″
		0.88	13′ 31.2″
		0.8	15′ 1.7″
		0.52	17′ 55.2″
		0.44	20′ 43.1″
		0.08	28′ 57.6″

V	T	x	t
490 V	1/2 min	8.29	0m 30s
		4.44	1′ 0″
		2.02	2′ 34.0″
		1.76	3′ 6.0″
		1.15	4′ 35.6″
		1.0	5′ 40.8″
		0.88	6′ 39.6″
		0.76	7′ 26.4″
		0.68	8′ 4.8″
		0.6	9′ 44.2″
		0.52	10′ 28,8″
		0.28	12′ 43.2″
		0.12	15′ 46.1″
		0.08	18′ 47.7″

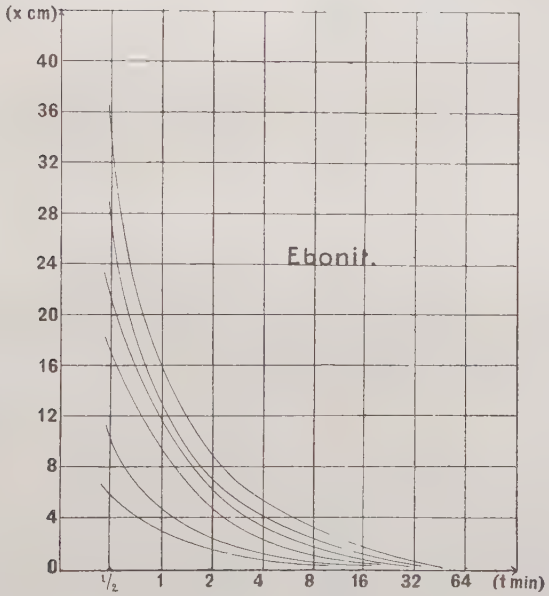


Fig. 13. T = 1/4 min

Ebonit.

V	T	x	t
3220 V	1/4 min	34.43	0m 30s
		15.48	1′ 0″
		7.6	2′ 27.6″
		6.23	3′ 11.4″
		4.93	4′ 26.4″
		4.11	5′ 50.4″
		3.71	6′ 36.0″

V	T	x	t
3220 V	1/4 min	3.47	7m 2.4s
		2.95	8′ 28.9″
		2.8	9′ 1.7″
		2.36	10′ 48.0″
		2.19	11′ 57.1″
		1.88	13′ 16.8″
		1.52	16′ 10.8″

Ebonit.

V	T	x	t
3220	$^1/_4$ min	1.31	18m 14.4s
		1.21	20′ 56.0″
		0.92	24′ 9.6″
		0.66	27′ 35.6″
		0.39	32′ 34.0″
		0.34	37′ 15.0″
		0.18	45′ 26.4″
		0.04	53′ 40.9″

V	T	x	t
2620	$^1/_4$ min	27.46	0m 30s
		12.92	1′ 0″
		6.04	2′ 24.0″
		4.61	3′ 18.1″
		3.68	4′ 31.2″
		3.24	5′ 27.6″
		2.72	6′ 40.3″
		2.52	7′ 12.0″
		2.11	8′ 5.2″
		1.92	9′ 27.1″
		1.83	10′ 4.8″
		1.56	11′ 45.4″
		1.45	12′ 35.1″
		1.11	15′ 5.7″
		0.84	17′ 55.2″
		0.75	19′ 4.2″
		0.51	22′ 39.6″
		0.44	25′ 54.0″
		0.27	30′ 55.2″
		0.11	34′ 25.7″
		0.08	43′ 33.7″

V	T	x	t
2160	$^1/_4$ min	21.69	0m 30s
		11.2	1′ 0″
		5.39	2′ 20.4″
		3.88	3′ 18.9″
		2.8	4′ 21.6″
		2.12	5′ 59.0″
		2.08	6′ 9.6″
		1.56	7′ 58.1″
		1.47	8′ 40.1″
		1.36	9′ 31.2″
		1.29	10′ 0″
		1.15	11′ 14.7″
		0.92	13′ 16.8″
		0.64	17′ 14.0″
		0.43	20′ 38.4″
		0.22	24′ 50.6″
		0.15	29′ 42.6″

V	T	x	t
1670	$^1/_4$ min	16.96	0m 30s
		9.2	1′ 0″
		3.91	2′ 27.6″
		3.08	3′ 0″
		1.99	4′ 21.6″
		1.68	5′ 0.1″
		1.48	6′ 12.0″
		1.2	7′ 53.7″
		1.13	8′ 4.8″
		1.01	9′ 45.6″
		0.92	10′ 53.3″
		0.83	12′ 4.8″
		0.64	14′ 30.8″
		0.42	18′ 52.8″
		0.2	24′ 38.4″
		0.14	29′ 32.4″
		0.03	34′ 47.3″

V	T	x	t
1020	$^1/_4$ min	10.31	0m 30s
		4.48	1′ 0″
		2.07	2′ 8.4″
		1.54	3′ 5.3″
		1.1	4′ 19.2″
		0.81	5′ 53.7″
		0.79	6′ 24.0″
		0.6	7′ 50.0″
		0.57	8′ 43.8″
		0.45	9′ 50.4″
		0.39	10′ 43.2″
		0.32	12′ 28.8″
		0.29	14′ 11.8″
		0.23	18′ 38.4″
		0.17	26′ 25.3″

V	T	x	t
490	$^1/_4$ min	5.81	0m 30s
		2.92	1′ 0″
		0.85	2′ 46.4″
		0.67	3′ 33.2″
		0.53	4′ 40.8″
		0.38	5′ 55.9″
		0.36	6′ 4.4″
		0.24	7′ 31.2″
		0.23	8′ 30.3″
		0.12	9′ 33.6″
		0.08	10′ 57.6″
		0.04	12′ 38.4″
		0.03	15′ 39.8″

Die dielektrische Erregung ist etwas größer als die des Kolophoniums, jedoch erfolgt das Abklingen der Nachwirkung bei $T = 3$ Minuten und $V = -1670$ Volt schon nach 5 Stunden, bei $T = 2$ Minuten und $V = -3210$ Volt allerdings erst nach zirka 9 Stunden. Bei kleinem V und T geht auch hier der Effekt sehr schnell zurück, und wir erreichen bei $V = -490$ Volt und $T = 1/4$ Minute bereits nach 16 Minuten die Ruhelage.

Ein von den beiden ersten Materialien abweichendes Verhalten zeigen Schellack und Siegellack. Zunächst ist bei Schellack ein außerordentlich weitgehender Unterschied zu finden.

Schellack.

V	T	x	t	V	T	x	t
1620 V	3 min	—	0m 30s	1620 V	3 min	1.87	363m 9.5s
		—	1′ 0″			1.68	403′ 19.6″
		74.52	2′ 0″			1.58	463′ 21.6″
		39.37	3′ 24.4″			1.44	502′ 46.7″
		34.02	3′ 46.6″			1.34	581′ 41.5″
		28.72	4′ 43.2″			1.12	665′ 36.0″
		25.38	5′ 36.0″			1.01	742′ 24.0″
		21.71	6′ 47.9″			0.89	819′ 12.0″
		19.31	7′ 51.7″			0.84	890′ 52.8″
		17.92	8′ 48.0″			0.75	972′ 48.0″
		17.53	9′ 7.2″			0.59	1095′ 40.8″
		16.44	10′ 7.9″			0.51	1198′ 4.8″
		15.2	11′ 46.3″			0.47	1280′ 0″
		13.99	12′ 28.8″			0.43	1331′ 12.0″
		13.32	13′ 59.1″			0.35	1434′ 1.2″
		12.64	14′ 57.6″			0.26	1576′ 41.5″
		11.91	16′ 10.0″			0.18	1756′ 41.5″
		11.74	17′ 19.7″			0.16	1971′ 41.5″
		10.87	19′ 31.2″			0.08	2010′ 36.6″
		10.02	22′ 38.9″				
		9.35	25′ 36.0″	V	T	x	t
		8.81	27′ 54.3″	980 V	3 min	72.78	0m 30s
		7.67	34′ 53.3″			55.33	1′ 0″
		7.11	40′ 4.9″			36.64	2′ 9.6″
		6.71	45′ 21.6″			22.77	3′ 50.9″
		6.42	50′ 46.7″			21.03	4′ 3.6″
		6.2	51′ 56.9″			17.48	5′ 12.0″
		5.5	61′ 57.9″			14.67	6′ 24.0″
		5.09	71′ 58.6″			12.75	7′ 21.6″
		4.8	81′ 57.4″			10.99	8′ 53.5″
		4.28	96′ 59.2″			10.4	9′ 40.8″
		3.98	112′ 2.6″			9.83	10′ 33.6″
		3.7	128′ 4.8″			8.95	11′ 39.3″
		3.43	143′ 49.2″			8.35	13′ 21.4″
		3.13	172′ 35.2″			7.54	16′ 5.5″
		2.82	213′ 59.6″			6.56	18′ 29.3″
		2.62	246′ 38.8″			6.03	21′ 37.9″
		2.24	293′ 3.9″			6.0	23′ 2.6″
		2.0	333′ 26.8″				

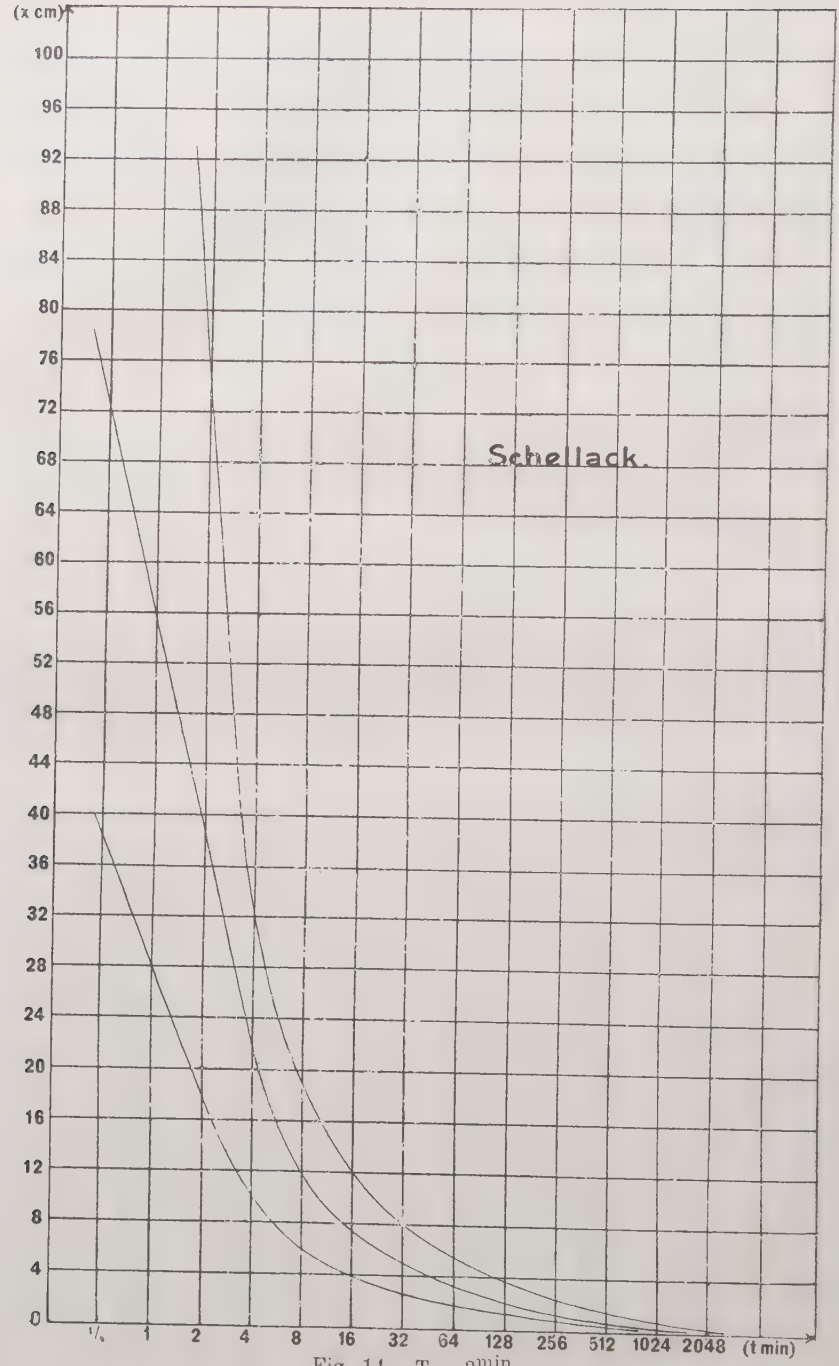

(x cm)
100
96
92
88
84
80
76
72
68
64
60
56
52
48
44
40
36
32
28
24
20
16
12
8
4
0
Schellack.
1/4
1
2
4
8
16
32
64
128
256
512
1024
2048
(t min)

Fig. 14. $T = 3^{min}$

Schellack.

V	T	x	t
980 V	3 min	5.58	26m 2.7s
		5.37	28′ 6.7″
		5.05	31′ 13.3″
		4.57	34′ 9.5″
		4.52	36′ 7.6″
		4.41	39′ 54.9″
		4.27	42′ 12.6″
		3.98	47′ 50.4″
		3.65	57′ 52.2″
		3.22	67′ 59.4″
		2.9	78′ 22.5″
		2.77	88′ 34.0″
		2.56	99′ 2.6″
		2.37	109′ 26.3″
		2.27	126′ 34.3″
		1.82	173′ 58.0″
		1.69	194′ 39.8″
		1.34	256′ 26.7″
		1.04	322′ 35.1″
		0.85	395′ 8.5″
		0.83	450′ 42.3″
		0.68	508′ 42.7″
		0.4	870′ 24.0″

V	T	x	t
480 V	3 min	37.68	0m 30s
		27.88	1′ 0″
		15.67	2′ 25.2″
		10.22	3′ 52.7″
		8.95	4′ 26.4″
		8.24	5′ 19.2″
		6.99	6′ 40.7″
		6.72	7′ 9.9″
		5.74	8′ 24.0″
		5.31	9′ 36.0″
		4.84	10′ 53.1″
		4.36	13′ 21.9″
		3.88	14′ 34.2″
		3.66	16′ 37.1″
		3.38	18′ 52.8″
		3.2	20′ 49.3″
		2.95	24′ 57.5″
		2.53	28′ 48.5″
		2.36	34′ 31.0″
		2.27	39′ 21.6″
		2.15	45′ 1.1″
		1.99	49′ 14.2″
		1.91	55′ 11.8″
		1.79	64′ 31.1″
		1.66	72′ 57.6″
		1.55	80′ 23.7″
		1.44	96′ 38.4″
		1.35	113′ 8.9″
		1.11	139′ 31.2″

V	T	x	t
480 V	3 min	0.98	158m 21.6s
		0.95	178′ 4.9″
		0.88	190′ 35.8″
		0.85	213′ 50.9″
		0.83	253′ 39.6″
		0.54	332′ 48.0″
		0.41	432′ 36.0″
		0.36	503′ 35.8″
		0.27	534′ 8.8″

V	T	x	t
3220 V	2 min	—	0m 30s
		—	1′ 0″
		70.49	2′ 57.6″
		60.18	3′ 34.8″
		50.3	4′ 26.4″
		43.96	5′ 14.4″
		34.78	6′ 33.8″
		29.74	7′ 36.0″
		26.92	8′ 43.2″
		25.47	9′ 31.2″
		24.3	10′ 3.5″
		21.96	11′ 55.2″
		19.72	13′ 29.9″
		18.58	14′ 52.8″
		16.81	16′ 53.0″
		16.33	18′ 17.9″
		14.69	21′ 4.2″
		13.58	24′ 43.1″
		12.9	26′ 40.9″
		12.08	29′ 59.5″
		11.85	30′ 57.7″
		10.91	35′ 16.2″
		10.27	40′ 20.1″
		9.66	45′ 34.4″
		9.1	50′ 33.8″
		8.7	55′ 43.7″
		7.79	67′ 47.9″
		7.31	77′ 50.3″
		6.65	89′ 26.5″
		6.35	100′ 52.3″
		5.77	116′ 50.2″
		5.23	132′ 42.0″
		5.08	147′ 48.6″
		4.5	172′ 32.5″
		4.26	188′ 23.0″
		4.09	206′ 7.3″
		3.76	236′ 9.8″
		3.05	312′ 50.1″
		2.58	369′ 58.9″
		2.29	430′ 35.1″
		2.07	490′ 38.3″
		1.91	551′ 29.7″
		1.44	701′ 26.4″

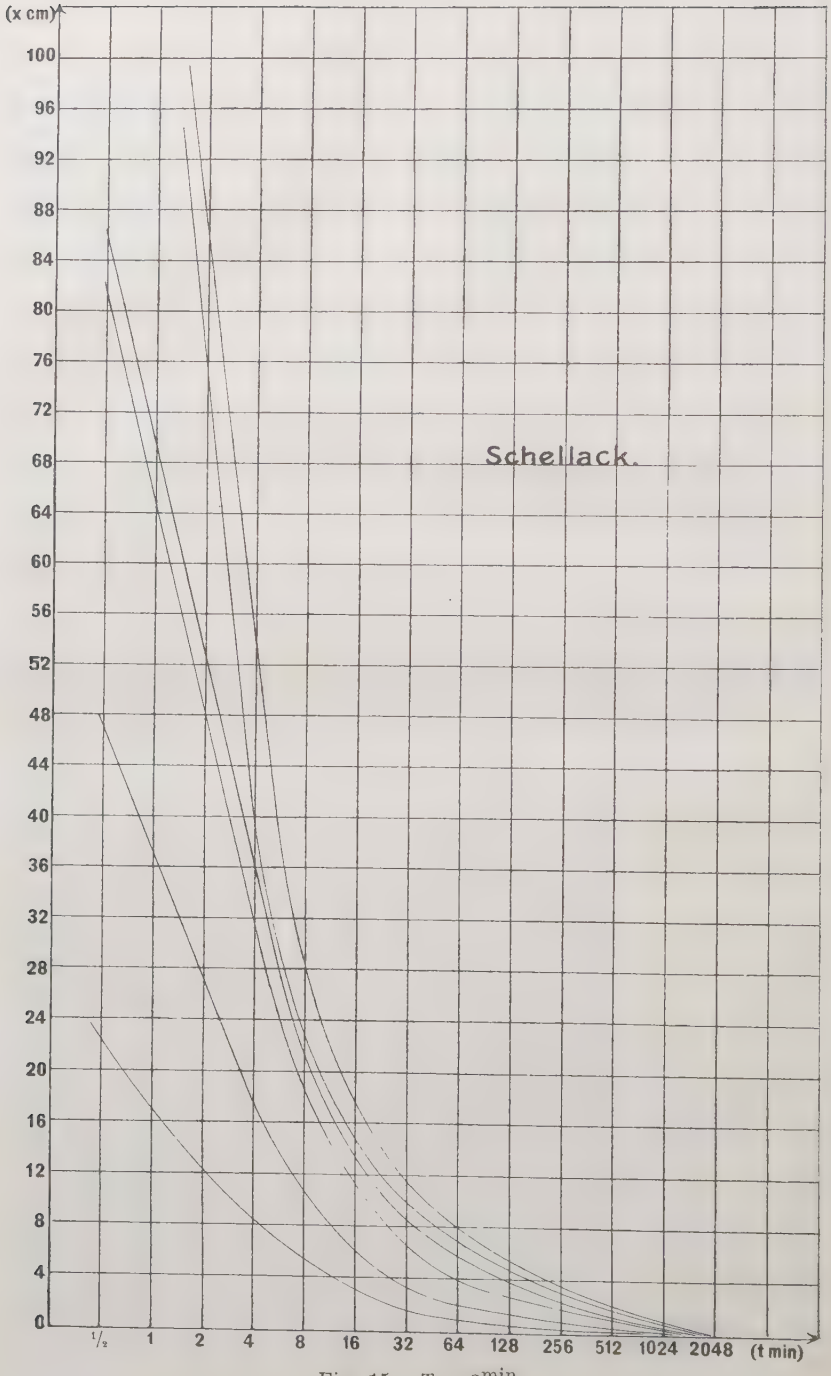

(x cm)
100
96
92
88
84
80
76
72
68
64
60
56
52
48
44
40
36
32
28
24
20
16
12
8
4
0
Schellack.
1/2
1
2
4
8
16
32
64
128
256
512
1024
2048
(t min)

Fig. 15. $T = 2^{min}$

Schellack.

V	T	x	t
3220 V	2 min	0.97	890 m 52.8 s
		0.76	998′ 24.0″
		0.68	1105′ 55.2″
		0.55	1269′ 45.6″
		0.23	1441′ 6.9″
		0.18	1570′ 15.7″
		0.09	1701′ 8.4″

V	T	x	t
2600 V	2 min	—	0 m 30 s
		—	1′ 0″
		71.99	2′ 6.0″
		47.75	3′ 27.8″
		36.12	4′ 24.0″
		32.04	5′ 14.4″
		27.53	6′ 20.5″
		24.98	7′ 3.6″
		21.6	8′ 33.6″
		19.99	9′ 53.9″
		19.13	10′ 39.5″
		17.0	12′ 59.6″
		15.48	14′ 40.9″
		14.12	16′ 18.8″
		13.47	18′ 3.1″
		12.01	21′ 52.3″
		11.0	26′ 36.6″
		10.64	28′ 9.6″
		10.11	31′ 5.8″
		9.31	36′ 28.0″
		8.53	42′ 25.2″
		7.98	48′ 2.7″
		7.56	53′ 11.8″
		6.79	67′ 17.7″
		6.15	77′ 54.7″
		6.06	85′ 7.2″
		5.39	96′ 27.2″
		5.33	106′ 52.8″
		4.89	117′ 11.8″
		4.53	134′ 5.6″
		4.26	155′ 17.1″
		3.65	188′ 18.6″
		3.5	221′ 19.3″
		2.85	296′ 17.0″
		2.49	357′ 34.5″
		2.1	422′ 53.7″
		1.84	483′ 36.5″
		1.57	543′ 55.4″
		1.2	680′ 57.6″
		0.96	793′ 36.0″
		0.71	901′ 7.2″
		0.48	1034′ 14.4″
		0.31	1208′ 19.2″
		0.29	1403′ 53.5″
		0.15	1468′ 16.1″

V	T	x	t
2600 V	2 min	0.08	1543 m 6.3 s
		0.03	1609′ 26.7″

V	T	x	t
2120 V	2 min	85.77	0 m 30 s
		69.0	1′ 0″
		51.26	2′ 10.8″
		39.09	3′ 35.9″
		33.51	4′ 31.2″
		30.04	5′ 19.2″
		25.25	6′ 34.1″
		22.1	7′ 38.4″
		20.58	8′ 28.8″
		19.6	9′ 13.1″
		17.93	10′ 43.2″
		17.39	11′ 21.6″
		15.46	13′ 18.9″
		12.97	16′ 48.4″
		11.83	20′ 9.1″
		10.27	24′ 36.9″
		8.93	28′ 43.1″
		8.16	31′ 50.7″
		7.85	35′ 20.8″
		7.12	42′ 35.3″
		6.39	51′ 45.5″
		5.97	58′ 56.2″
		5.4	68′ 27.0″
		5.0	82′ 6.5″
		4.46	97′ 3.0″
		3.96	117′ 1.4″
		3.52	135′ 22.0″
		3.04	179′ 12.0″
		2.73	204′ 27.4″
		2.34	232′ 58.8″
		1.71	324′ 8.5″
		1.67	352′ 8.7″
		1.05	433′ 27.7″
		0.97	547′ 50.4″
		0.84	645′ 7.2″
		0.64	793′ 36.0″
		0.4	911′ 21.6″
		0.32	1018′ 52.8″
		0.28	1269′ 45.6″
		0.16	1460′ 15.3″
		0.06	1523′ 6.6″

V	T	x	t
1620 V	2 min	81.2	0 m 30 s
		64.01	1′ 0″
		44.43	2′ 19.2″
		32.15	3′ 48.1″
		29.14	4′ 24.0″
		26.0	5′ 21.6″

Schellack.

V	T	x	t
1620 V	2 min	23.02	6m 28.8s
		20.5	7′ 25.5″
		17.89	8′ 43.2″
		17.33	9′ 16.8″
		15.49	10′ 51.8″
		14.32	12′ 4.8″
		12.45	14′ 12.1″
		11.12	15′ 55.2″
		10.33	17′ 46.9″
		9.91	19′ 12.0″
		8.92	21′ 5.6″
		7.81	25′ 21.6″
		7.08	28 41.3″
		6.42	31′ 5.8″
		5.91	34′ 37.4″
		5.48	39′ 16.2″
		5.0	43′ 37.2″
		4.75	47′ 48.9″
		4.35	53′ 36.4″
		4.06	59′ 39.1″
		3.86	64′ 56.3″
		3.73	70′ 23.9″
		3.42	80′ 37.6″
		3.21	91′ 38.3″
		2.97	106′ 46.6″
		2.61	126′ 7.6″
		2.52	141′ 10.9″
		2.25	171′ 22.1″
		1.92	208′ 51.4″
		1.51	280′ 30.0″
		1.29	343′ 37.0″
		1.02	412′ 8.3″
		0.89	473′ 31.2″
		0.69	535′ 44.0″
		0.6	624′ 38.4″
		0.4	773′ 7.2″
		0.24	890′ 52.8″

V	T	x	t
980 V	2 min	46.96	0m 30s
		37.0	1′ 0″
		26.8	2′ 3.6″
		22.16	3′ 1.2″
		17.0	4′ 9.8″
		14.94	5′ 12.0″
		12.71	6′ 31.2″
		11.25	7′ 25.6″
		10.14	8′ 24.0″
		9.33	9′ 26.4″
		9.0	10′ 4.8″
		8.34	11′ 13.2″
		7.42	12′ 38.4″
		6.4	14′ 52.8″

V	T	x	t
980 V	2 min	5.42	16m 57.6s
		5.12	18′ 21.1″
		4.37	22′ 32.4″
		3.36	28′ 24.1″
		3.02	32′ 18.1″
		2.83	36′ 4.5″
		2.56	40′ 7.5″
		2.35	45′ 30.2″
		2.12	50′ 51.9″
		1.65	64′ 24.4″
		1.6	70′ 24.0″
		1.44	80′ 50.3″
		1.19	99′ 49.0″
		0.98	129′ 57.3″
		0.94	142′ 4.8″
		0.88	160′ 2.3″
		0.8	199′ 40.8″
		0.6	258′ 9.0″
		0.52	322′ 29.1″
		0.44	397′ 38.4″
		0.35	448′ 12.5″
		0.24	508′ 40.4″

V	T	x	t
480 V	2 min	22.08	0m 30s
		16.68	1′ 0″
		11.56	2′ 10.8″
		8.97	3′ 31.8″
		7.88	4′ 14.4″
		7.06	5′ 19.2″
		6.24	6′ 21.6″
		5.47	7′ 0.8″
		4.88	8′ 33.6″
		4.52	9′ 40.8″
		4.34	10′ 19.1″
		3.48	13′ 30.1″
		2.62	17′ 19.8″
		2.24	20′ 55.4″
		1.84	24′ 56.7″
		1.52	28′ 28.3″
		1.36	31′ 49.6″
		1.22	35′ 15.4″
		1.12	41′ 17.9″
		0.93	47′ 49.4″
		0.86	58′ 30.4″
		0.66	72′ 5.0″
		0.61	86′ 57.6″
		0.55	102′ 30.5″
		0.43	141′ 2.1″
		0.36	169′ 50.1″
		0.28	214′ 54.3″
		0.16	254′ 43.2″
		0.02	291′ 26.5″

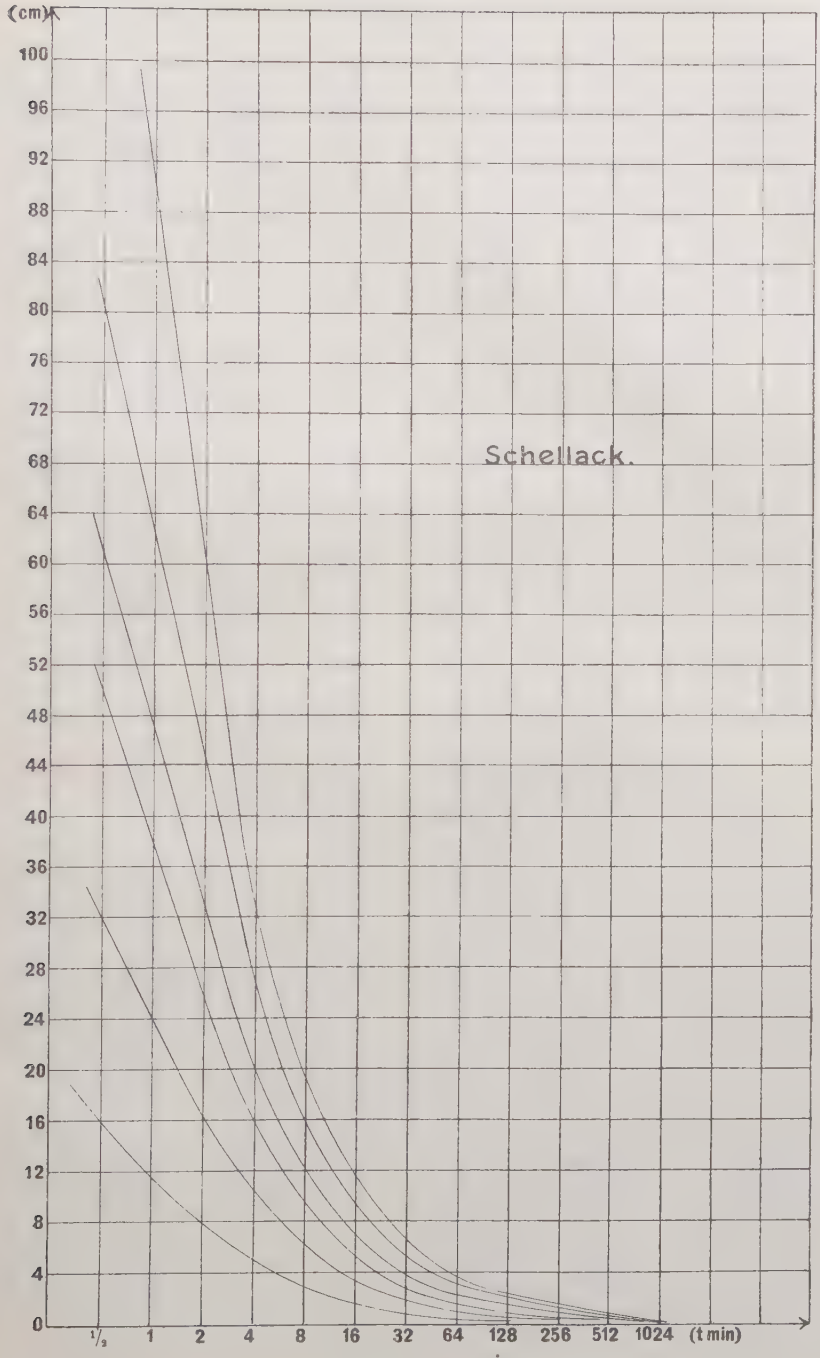


Fig. 16. $T = 1^{min}$ 4

Schellack.

V	T	x	t
3210 V	1 min	—	0m 30s
		90.26	1′ 0″
		56.81	2′ 9.6″
		33.43	3′ 48.8″
		30.4	4′ 24.0″
		27.39	5′ 12.0″
		23.5	6′ 19.2″
		21.42	7′ 10.2″
		18.24	8′ 38.4″
		16.8	9′ 36.0″
		15.93	10′ 37.9″
		14.75	12′ 9.6″
		13.16	13′ 59.0″
		12.14	15′ 7.2″
		10.95	17′ 43.7″
		10.36	19′ 21.6″
		9.51	21′ 22.7″
		8.44	24′ 59.9″
		7.61	28′ 19.1″
		6.89	31′ 44.5″
		6.17	34′ 58.2″
		5.6	40′ 25.8″
		5.16	45′ 36.2″
		4.34	56′ 4.7″
		3.76	63′ 3.9″
		3.43	73′ 7.5″
		3.09	83′ 29.2″
		2.88	93′ 52.7″
		2.59	103′ 56.6″
		2.34	134′ 1.5″
		2.13	164′ 29.8″
		1.73	197′ 37.5″
		1.48	243′ 11.3″
		1.26	302′ 7.8″
		0.97	365′ 38.6″
		0.88	427′ 18.6″
		0.71	479′ 13.4″
		0.61	541′ 6.9″
		0.52	614′ 24.0″
		0.4	701′ 26.4″
		0.31	839′ 40.8″
		0.21	921′ 36.0″
		0.16	1142′ 38.5″
		0.08	1294′ 46.7″

V	T	x	t
2590 V	1 min	80.45	0m 30.0s
		62.1	1′ 0″
		40.6	2′ 22.8″
		26.78	3′ 58.3″
		25.01	4′ 11.9″
		21.3	5′ 33.6″
		19.84	6′ 7.2″
		16.68	7′ 27.3″

V	T	x	t
2590 V	1 min	15.14	8m 20.0s
		14.24	9′ 16.8″
		12.68	10′ 58.1″
		12.03	11′ 41.7″
		9.9	14′ 41.2″
		9.33	15′ 44.2″
		7.87	19′ 31.4″
		6.93	23′ 36.5″
		5.88	28′ 19.5″
		5.42	32′ 3.4″
		4.74	35′ 42.7″
		4.59	39′ 11.6″
		4.0	48′ 0.3″
		3.42	58′ 55.2″
		3.04	69′ 44.6″
		2.87	80′ 48.9″
		2.62	91′ 47.9″
		2.49	101′ 53.6″
		2.35	112′ 9.6″
		2.01	142′ 29.8″
		1.77	172′ 33.8″
		1.5	203′ 14.8″
		1.22	311′ 20.4″
		0.87	371′ 21.5″
		0.68	437′ 45.6″
		0.46	522′ 14.4″
		0.39	614′ 24.0″
		0.27	747′ 31.2″

V	T	x	t
2120 V	1 min	61.1	0m 30s
		46.7	1′ 0″
		31.51	2′ 13.2″
		21.93	3′ 35.5″
		19.48	4′ 7.2″
		16.12	5′ 33.6″
		13.56	6′ 57.3″
		12.6	7′ 29.2″
		11.49	8′ 19.2″
		10.68	9′ 26.4″
		9.7	10′ 44.1″
		8.64	12′ 28.8″
		7.66	14′ 14.7″
		6.22	17′ 39.2″
		5.2	21′ 25.0″
		4.58	25′ 16.6″
		4.05	29′ 16.7″
		3.51	34′ 0.7″
		3.02	41′ 55.7″
		2.91	42′ 42.0″
		2.7	49′ 33.0″
		2.52	55′ 57.6″
		2.25	62′ 14.9″
		2.04	68′ 38.5″

Schellack.

V	T	x	t
2120 V	1 min	1.94	78m 41.8s
		1.79	90′ 7.7″
		1.52	121′ 32.6″
		1.33	145′ 51.2″
		1.16	197′ 5.6″
		0.8	260′ 6.1″
		0.75	320′ 8.7″
		0.56	380′ 18.1″
		0.46	440′ 28.4″
		0.34	524′ 7.9″

V	T	x	t
1630 V	1 min	49.63	0m 30s
		37.51	1′ 0″
		25.49	2′ 2.4″
		16.79	3′ 44.4″
		14.56	4′ 38.4″
		12.88	5′ 31.2″
		10.87	6′ 53.8″
		10.4	7′ 14.4″
		9.19	8′ 9.6″
		8.33	9′ 26.4″
		7.96	10′ 8.6″
		6.95	12′ 4.8″
		6.31	13′ 25.5″
		5.62	14′ 42.4″
		4.8	16′ 49.8″
		4.45	18′ 34.6″
		4.16	20′ 11.1″
		3.83	22′ 17.2″
		3.68	23′ 22.9″
		3.29	26′ 45.7″
		2.91	30′ 8.1″
		2.59	33′ 18.8″
		2.36	36′ 42.8″
		2.21	41′ 52.8″
		1.8	50′ 18.4″
		1.56	58′ 41.2″
		1.37	73′ 48.5″
		1.32	86′ 24.0″
		1.23	95′ 16.1″
		1.15	103′ 54.5″
		0.91	141′ 10.6″
		0.85	171′ 22.3″
		0.73	205′ 3.6″
		0.56	274′ 27.6″
		0.39	338′ 42.1″
		0.37	403′ 4.1″
		0.3	463′ 11.6″
		0.27	523′ 32.8″

V	T	x	t
980 V	1 min	31.74	0m 30s
		23.68	1′ 0″

V	T	x	t
980 V	1 min	15.35	2m 8.4s
		10.8	3′ 44.5″
		10.2	4′ 0.7″
		8.68	5′ 12.0″
		6.94	6′ 48.0″
		6.56	7′ 12.4″
		5.79	8′ 19.2″
		5.2	9′ 31.2″
		4.64	10′ 49.1″
		4.14	12′ 24.0″
		3.69	14′ 7.8″
		2.98	17′ 34.4″
		2.64	20′ 51.2″
		2.17	24′ 17.2″
		1.97	27′ 44.6″
		1.79	30′ 51.8″
		1.53	34′ 26.6″
		1.5	36′ 44.9″
		1.27	44′ 29.3″
		1.15	52′ 11.6″
		1.06	58′ 22.6″
		0.77	68′ 46.0″
		0.68	79′ 1.0″
		0.6	90′ 13.2″
		0.52	100′ 19.9″
		0.42	177′ 33.9″
		0.26	229′ 2.0″
		0.15	365′ 38.5″
		0.08	425′ 43.0″

V	T	x	t
480 V	1 min	15.68	0m 30s
		11.27	1′ 0″
		7.76	2′ 13.2″
		5.18	3′ 40.0″
		4.48	4′ 28.8″
		4.0	5′ 16.8″
		3.26	6′ 57.2″
		2.96	7′ 21.6″
		2.49	8′ 38.4″
		2.33	9′ 24.5″
		2.22	10′ 20.8″
		1.91	12′ 23.5″
		1.7	13′ 39.0″
		1.42	15′ 55.7″
		1.27	17′ 19.4″
		1.14	20′ 29.5″
		0.93	23′ 38.6″
		0.81	26′ 54.8″
		0.7	30′ 2.4″
		0.53	33′ 10.4″
		0.45	43′ 15.1″
		0.36	53′ 38.4″

Schellack.

V	T	x	t	V	T	x	t
480 V	1^{min}	0.29	$68^m\ 32.8^s$	480 V	1^{min}	0.08	$109^m\ 30.0^s$
		0.16	79′ 51.8″			0.05	120′ 57.4″
		0.1	90′ 39.4″			0.02	158′ 14.0″

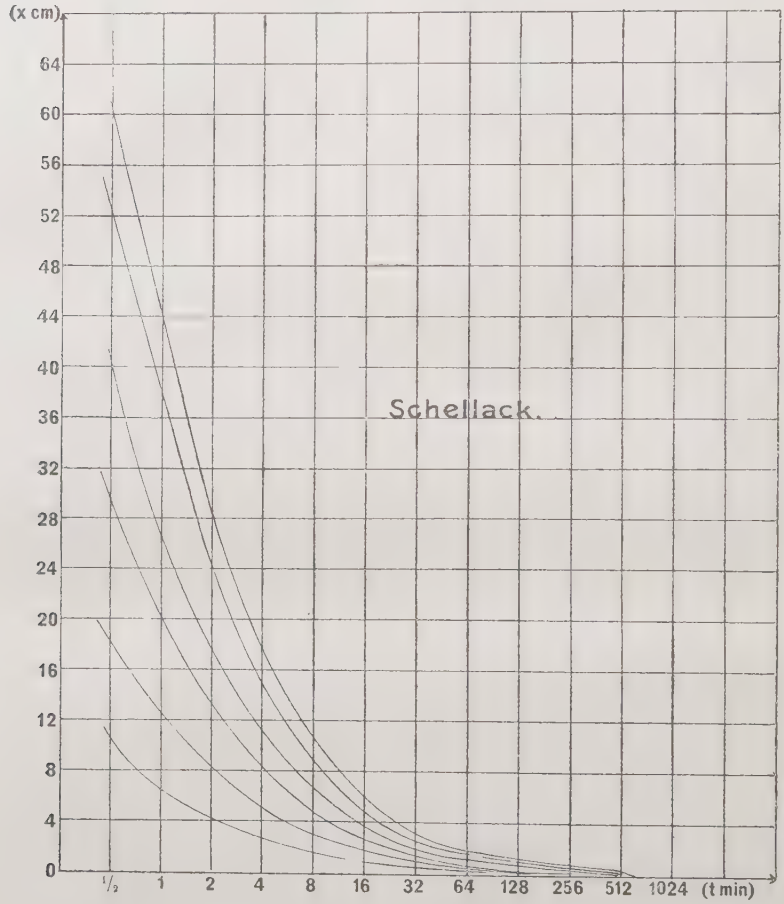


Fig. 17. $T = {}^{1}/_{2}\,min$

V	T	x	t	V	T	x	t
3210 V	$^1/_2\,min$	60.28	$0^m\ 30^s$	3210 V	$^1/_2\,min$	9.76	$9^m\ 16.8^s$
		44.04	1′ 0″			9.04	10′ 19.2″
		24.4	2′ 36.0″			8.0	11′ 56.6″
		18.12	3′ 48.7″			7.42	13′ 7.2″
		15.86	4′ 50.4″			6.28	15′ 8.8″
		14.63	5′ 26.4″			5.31	18′ 54.2″
		12.97	6′ 24.0″			4.6	22′ 20.6″
		11.29	7′ 24.5″			3.97	26′ 13.6″
		10.15	8′ 32.7″			3.4	29′ 27.8″

Schellack.

V	T	x	t
3210 V	$^1/_2$ min	3.03	32m 50.5s
		2.77	36′ 19.9″
		2.27	46′ 23.1″
		1.92	56′ 51.0″
		1.69	67′ 1.9″
		1.61	77′ 33.4″
		1.46	89′ 16.1″
		1.4	99′ 28.8″
		1.09	143′ 56.6″
		0.93	180′ 54.6″
		0.84	218′ 37.9″
		0.71	279′ 12.7″
		0.53	346′ 46.3″
		0.38	406′ 52.5″
		0.34	473′ 54.5″
		0.12	535′ 58.7″

V	T	x	t
2610 V	$^1/_2$ min	52.33	0m 30s
		37.88	1′ 0″
		23.12	2′ 10.8″
		15.11	3′ 53.7″
		14.12	4′ 21.6″
		12.14	5′ 31.2″
		11.2	6′ 9.6″
		9.44	7′ 23.4″
		8.49	8′ 14.4″
		7.68	9′ 36.0″
		7.09	10′ 38.1″
		6.03	12′ 48.0″
		5.42	14′ 12.2″
		4.43	17′ 26.1″
		4.11	18′ 28.0″
		3.6	21′ 47.6″
		3.32	23′ 58.5″
		3.04	27′ 16.8″
		2.6	30′ 38.3″
		2.36	33′ 58.1″
		2.28	35′ 35.9″
		1.99	45′ 38.9″
		1.71	55′ 53.3″
		1.56	67′ 51.7″
		1.41	83′ 18.1″
		1.22	97′ 56.5″
		1.12	116′ 37.7″
		0.97	131′ 25.4″
		0.78	175′ 38.5″
		0.61	242′ 54.3″
		0.36	341′ 54.8″
		0.2	421′ 52.9″
		0.09	490′ 6.7″

V	T	x	t
2120 V	$^1/_2$ min	40.21	0m 30s
		26.4	1′ 0″
		18.74	1′ 50.5″

V	T	x	t
2120 V	$^1/_2$ min	11.37	3m 51.9s
		9.75	4′ 59.4″
		9.09	5′ 33.6″
		8.16	6′ 26.4″
		6.99	7′ 37.1″
		6.4	8′ 19.2″
		5.95	9′ 21.6″
		5.48	10′ 24.0″
		4.9	11′ 44.8″
		3.78	15′ 9.6″
		3.12	18′ 31.5″
		2.71	21′ 40.2″
		2.35	24′ 56.0″
		2.03	28′ 5.3″
		1.94	30′ 10.7″
		1.69	34′ 46.9″
		1.52	39′ 43.3″
		1.4	45′ 21.2″
		1.24	55′ 42.4″
		1.13	66′ 9.7″
		0.96	78′ 51.5″
		0.88	89′ 30.2″
		0.78	98′ 55.9″
		0.62	132′ 18.3″
		0.44	195′ 45.7″
		0.32	279′ 40.0″
		0.25	346′ 44.7″
		0.15	430′ 32.3″

V	T	x	t
1630 V	$^1/_2$ min	29.33	0m 30s
		19.96	1′ 0″
		12.8	2′ 8.4″
		9.5	3′ 26.3″
		8.08	4′ 4.9″
		7.04	5′ 12.0″
		5.47	6′ 56.8″
		5.11	7′ 35.9″
		4.54	8′ 43.2″
		4.28	9′ 31.2″
		4.0	10′ 27.0″
		3.52	11′ 57.3″
		2.94	13′ 51.3″
		2.76	15′ 11.5″
		2.46	17′ 10.2″
		2.37	18′ 44.0″
		1.99	21′ 58.2″
		1.59	27′ 40.0″
		1.33	31′ 15.1″
		1.21	35′ 47.3″
		1.05	39′ 10.1″
		0.84	49′ 27.0″
		0.71	60′ 5.3″
		0.49	70′ 21.1″
		0.44	90′ 26.6″

Schellack.

V	T	x	t
1630 $\sqrt{V}$	$^1/_2$ min	0.26	117m 54.7s
		0.19	157′ 33.6″
		0.05	242′ 45.5″
		0.02	304′ 15.9″

V	T	x	t
980 $\sqrt{V}$	$^1/_2$ min	18.07	0m 30s
		12.55	1′ 0″
		7.96	2′ 7.2″
		5.28	3′ 49.8″
		4.77	4′ 21.6″
		4.28	5′ 14.4″
		3.76	6′ 19.2″
		3.21	7′ 23.9″
		2.74	8′ 43.2″
		2.64	9′ 40.8″
		2.43	10′ 42.9″
		1.98	13′ 57.7″
		1.6	17′ 27.4″
		1.47	21′ 0.6″
		1.41	22′ 1.0″
		1.26	24′ 42.3″
		1.11	27′ 14.6″
		1.06	28′ 10.4″
		0.93	32′ 54.3″
		0.81	39′ 54.3″
		0.71	44′ 46.0″
		0.64	50′ 52.6″
		0.49	56′ 16.8″
		0.39	66′ 20.6″
		0.36	79′ 21.6″
		0.2	96′ 0″
		0.16	108′ 9.6″
		0.12	118′ 24.0″
		0.08	135′ 40.8″

V	T	x	t
490 $\sqrt{V}$	$^1/_2$ min	10.52	0m 30s
		6.52	1′ 0″
		4.14	2′ 3.6″
		3.02	3′ 30.4″
		2.6	4′ 12.0″
		2.28	5′ 9.6″
		1.96	6′ 29.8″
		1.68	7′ 36.0″
		1.48	8′ 28.8″
		1.37	9′ 45.1″
		1.28	10′ 57.6″
		1.12	13′ 6.4″
		0.79	16′ 39.2″
		0.66	19′ 47.2″
		0.53	23′ 34.5″
		0.49	26′ 36.5″

V	T	x	t
490 $\sqrt{V}$	$^1/_2$ min	0.4	31m 11.0s
		0.34	35′ 0.6″
		0.25	45′ 3.1″
		0.23	55′ 17.9″
		0.15	73′ 48.2″
		0.09	88′ 9.9″
		0.05	104′ 2.1″

V	T	x	t
3210 $\sqrt{V}$	$^1/_4$ min	28.8	0m 30s
		17.48	1′ 0″
		10.98	2′ 7.2″
		7.07	3′ 57.7″
		6.32	4′ 48.0″
		5.8	5′ 31.2″
		5.1	6′ 24.0″
		4.65	7′ 4.5″
		3.98	8′ 33.6″
		3.8	9′ 21.6″
		3.5	10′ 28.1″
		3.16	11′ 55.2″
		2.73	14′ 11.8″
		2.35	17′ 10.9″
		2.1	18′ 52.8″
		1.91	21′ 52.0″
		1.57	25′ 48.0″
		1.37	28′ 7.9″
		1.22	31′ 36.6″
		1.07	36′ 22.6″
		0.79	46′ 47.7″
		0.7	55′ 46.0″
		0.54	66′ 0.8″
		0.44	76′ 17.2″
		0.38	98′ 20.0″
		0.2	161′ 15.4″
		0.12	241′ 10.4″
		0.08	303′ 44.7″

V	T	x	t
2610 $\sqrt{V}$	$^1/_4$ min	21.83	0m 30s
		13.72	1′ 0″
		8.48	2′ 6.0″
		5.68	3′ 43.9″
		5.36	4′ 0.6″
		4.6	5′ 9.6″
		3.79	6′ 45.6″
		3.45	7′ 8.2″
		3.04	8′ 14.4″
		2.78	9′ 46.5″
		2.68	10′ 9.7″
		2.2	12′ 47.2″
		2.06	13′ 55.2″
		1.81	15′ 48.1″

Schellack.

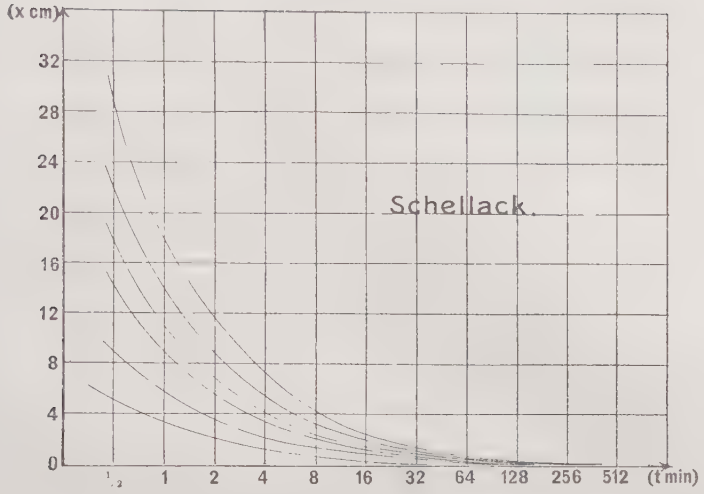


Fig. 18. $T = {}^1/_4$ min

V	T	x	t
2610 $\sqrt{V}$	$^1/_4$ min	1.51	19m 24.7s
		1.33	22′ 51.8″
		1.11	28′ 15.8″
		0.92	31′ 30.6″
		0.84	35′ 18.2″
		0.66	44′ 20.6″
		0.48	54′ 55.9″
		0.4	66′ 19.9″
		0.34	77′ 42.8″
		0.29	90′ 34.6″
		0.16	126′ 24.9″
		0.08	186′ 58.1″
		0.03	217′ 48.9″

V	T	x	t
2120 $\sqrt{V}$	$^1/_4$ min	17.75	0m 30s
		10.69	1′ 0″
		6.54	2′ 1.2″
		4.21	3′ 43.2″
		3.78	4′ 19.2″
		3.28	5′ 21.6″
		2.6	6′ 58.1″
		2.5	7′ 28.8″
		2.24	8′ 33.6″
		2.04	9′ 36.0″
		1.97	10′ 36.3″
		1.59	13′ 58.3″
		1.34	17′ 13.3″
		1.2	20′ 25.8″
		1.08	23′ 40.8″
		0.85	28′ 29.1″
		0.8	32′ 5.5″

V	T	x	t
2120 $\sqrt{V}$	$^1/_4$ min	0.71	35m 33.9s
		0.57	44′ 10.9″
		0.38	54′ 37.7″
		0.27	64′ 46.5″
		0.16	95′ 3.1″
		0.06	137′ 32.4″

V	T	x	t
1630 $\sqrt{V}$	$^1/_4$ min	14.18	0m 30s
		8.68	1′ 0″
		5.24	2′ 2.4″
		3.26	3′ 57.7″
		2.86	4′ 40.8″
		2.68	5′ 33.6″
		2.4	6′ 26.4″
		2.15	7′ 30.1″
		1.94	8′ 28.8″
		1.78	9′ 40.8″
		1.68	10′ 47.7″
		1.3	14′ 8.9″
		1.06	17′ 26.5″
		0.89	20′ 38.1″
		0.78	24′ 4.0″
		0.68	27′ 29.6″
		0.56	31′ 7.5″
		0.45	34′ 42.3″
		0.35	45′ 4.6″
		0.28	55′ 49.8″
		0.17	66′ 19.4″
		0.06	98′ 45.7″

Schellack.

V	T	x	t
980 V	$^1/_4$ min	8.65	0m 30s
		5.52	1′ 0″
		3.29	2′ 6.0″
		2.29	3′ 33.6″
		1.92	4′ 24.0″
		1.68	5′ 26.4″
		1.47	6′ 55.8″
		1.39	7′ 5.7″
		1.24	8′ 38.4″
		1.16	9′ 31.2″
		1.12	10′ 27.4″
		0.93	14′ 3.8″
		0.77	17′ 26.5″
		0.65	20′ 51.8″
		0.56	24′ 4.0″
		0.46	27′ 23.3″
		0.35	30′ 45.7″
		0.26	38′ 14.1″
		0.21	48′ 59.5″
		0.15	59′ 13.3″

V	T	x	t
980 V	$^1/_4$ min	0.07	75m 1.6s
		0.04	91′ 48.7″

V	T	x	t
490 V	$^1/_4$ min	5.02	0m 30s
		3.21	1′ 0″
		1.93	2′ 3.6″
		1.24	3′ 24.0″
		1.09	4′ 14.4″
		0.9	5′ 10.3″
		0.79	6′ 14.7″
		0.63	7′ 34.5″
		0.52	8′ 43.2″
		0.48	9′ 45.4″
		0.43	10′ 57.6″
		0.34	13′ 15.8″
		0.27	15′ 13.3″
		0.16	21′ 24.3″
		0.1	26′ 31.4″
		0.04	31′ 39.1″

Eine Expositionszeit von 3 Minuten und eine Spannung von —1620 Volt bewirkt eine Erregung, die erst nach 34 Stunden keinen Ausschlag der Nadel mehr erkennen läßt, während bei kleinem T und V schon nach $^1/_2$ Stunde jede Nachwirkung aufhört. Welche Erregung eine sehr lange Expositionszeit von T = 1 Stunde und V = — 3210 Volt auslöst, zeigt folgender Versuch. Nach 5 Tagen ist der Ausschlag bis auf 2 Skalenteile vom Nullpunkt zurückgegangen.

Bei Siegellack stellt sich ein geringerer Effekt ein als bei Schellack.

Siegellack.

V	T	x	t
1630 V	3min	—	0m 30s
		—	1′ 0″
		78.97	2′ 0″
		44.23	3′ 34.4″
		41.96	3′ 42.7″
		36.32	4′ 24.0″
		31.97	5′ 21.6″
		27.53	6′ 48.0″
		24.58	7′ 26.4″
		22.09	8′ 19.2″
		20.48	9′ 31.2″
		19.74	10′ 6.2″
		17.2	11′ 50.4″
		15.25	13′ 28.6″
		12.48	16′ 41.7″
		10.88	19′ 55.5″
		9.74	23′ 3.9″
		8.44	26′ 22.8″
		7.46	29′ 37.1″
		6.68	32′ 43.5″
		6.02	38′ 0″

V	T	x	t
1630 V	3min	4.81	48m 5.0s
		3.94	58′ 25.4″
		3.23	74′ 30.2″
		2.64	95′ 34.1″
		2.06	115′ 21.3″
		1.81	132′ 37.3″
		1.22	188′ 47.1″
		0.64	255′ 51.4″
		0.36	318′ 0.7″
		0.25	386′ 45.8″
		0.13	443′ 4.7″
		0.03	470′ 19.3″
		0.01	517′ 10.2″

V	T	x	t
980 V	3min	74.2	0m 30s
		57.24	1′ 0″
		39.8	2′ 2.4″
		23.96	3′ 57.4″
		20.98	4′ 48.0″

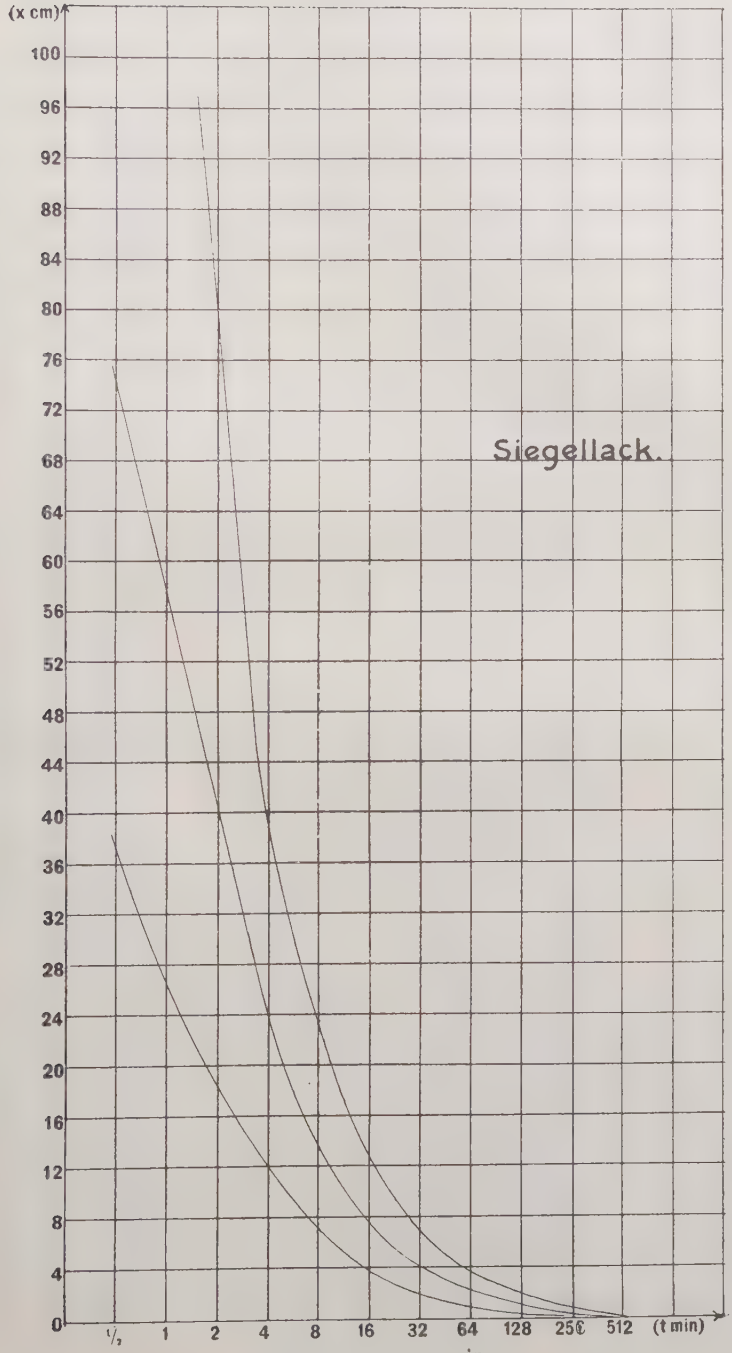

(x cm)
100
96
92
88
84
80
76
72
68
64
60
56
52
48
44
40
36
32
28
24
20
16
12
8
4
0
Siegellack.
1/2
1
2
4
8
16
32
64
128
256
512
(t min)

Fig. 19. $T = 3^{min}$

Siegellack.

V	T	x	t
980 V	3min	18.95	5m 28.8s
		16.99	6′ 16.8″
		14.16	7′ 34.8″
		12.72	8′ 43.2″
		11.96	9′ 40.8″
		11.04	10′ 39.8″
		8.62	14′ 9.5″
		7.01	17′ 31.9″
		6.11	20′ 49.3″
		5.27	24′ 9.0″
		4.61	27′ 29.6″
		4.16	30′ 52.0″
		3.76	34′ 21.3″
		3.33	39′ 40.4″
		3.08	45′ 4.7″
		2.64	53′ 35.5″
		2.24	63′ 57.5″
		1.84	74′ 23.0″
		1.68	82′ 19.4″
		1.2	104′ 51.1″
		0.88	143′ 17.2″
		0.51	204′ 40.2″
		0.17	292′ 58.8″
		0.04	354′ 39.1″
		0.01	414′ 52.1″

V	T	x	t
480 V	3min	37.18	0m 30s
		26.17	1′ 0″
		17.92	2′ 3.6″
		14.28	3′ 12.0″
		11.84	4′ 2.4″
		10.24	5′ 14.4″
		9.16	6′ 4.8″
		7.34	7′ 33.5″
		6.66	8′ 33.6″
		6.27	9′ 21.6″
		5.52	10′ 57.3″
		4.17	14′ 19.2″
		3.4	17′ 57.1″
		2.87	21′ 51.0″
		2.48	25′ 2.0″
		2.22	28′ 6.6″
		1.93	31′ 34.9″
		1.72	35′ 8.5″
		1.36	45′ 29.6″
		1.06	55′ 36.9″
		0.76	70′ 57.7″
		0.57	86′ 0.6″
		0.49	95′ 11.9″
		0.33	116′ 11.8″
		0.13	158′ 21.6″
		0.09	178′ 17.6″
		0.02	224′ 18.1″

V	T	x	t
3220 V	2min	—	0m 30s
		—	1′ 0″
		82.8	2′ 1.2″
		61.65	3′ 39.7″
		58.67	3′ 56.0″
		54.88	4′ 24.0″
		47.08	5′ 36.0″
		41.71	6′ 26.4″
		36.32	7′ 12.3″
		31.4	8′ 14.4″
		28.84	9′ 21.6″
		26.73	10′ 22.5″
		24.02	11′ 55.2″
		21.05	13′ 46.3″
		16.95	17′ 7.8″
		15.02	20′ 26.1″
		13.39	23′ 44.7″
		11.95	26′ 45.5″
		10.54	30′ 0.7″
		9.46	33′ 8.8″
		8.75	36′ 39.9″
		8.06	40′ 31.0″
		6.8	48′ 57.3″
		6.58	50′ 37.4″
		5.85	55′ 14.9″
		5.01	61′ 45.7″
		3.98	76′ 29.3″
		3.52	87′ 40.8″
		3.35	94′ 6.3″
		2.44	117′ 13.0″
		2.04	139′ 29.0″
		1.58	169′ 43.8″
		1.28	208′ 50.2″
		0.74	277′ 32.6″
		0.6	308′ 55.6″
		0.4	375′ 5.0″
		0.16	448′ 5.8″
		0.1	508′ 22.7″
		0.03	556′ 27.4″

V	T	x	t
2630 V	2min	—	0m 30s
		96.33	1′ 0″
		69.4	2′ 3.6″
		46.66	3′ 55.2″
		41.34	4′ 33.6″
		37.89	5′ 7.4″
		31.9	6′ 24.0″
		25.83	7′ 49.5″
		23.8	8′ 43.2″
		23.46	9′ 5.0″
		20.87	10′ 28.8″
		19.43	11′ 22.0″
		17.77	12′ 38.3″
		14.82	14′ 57.1″

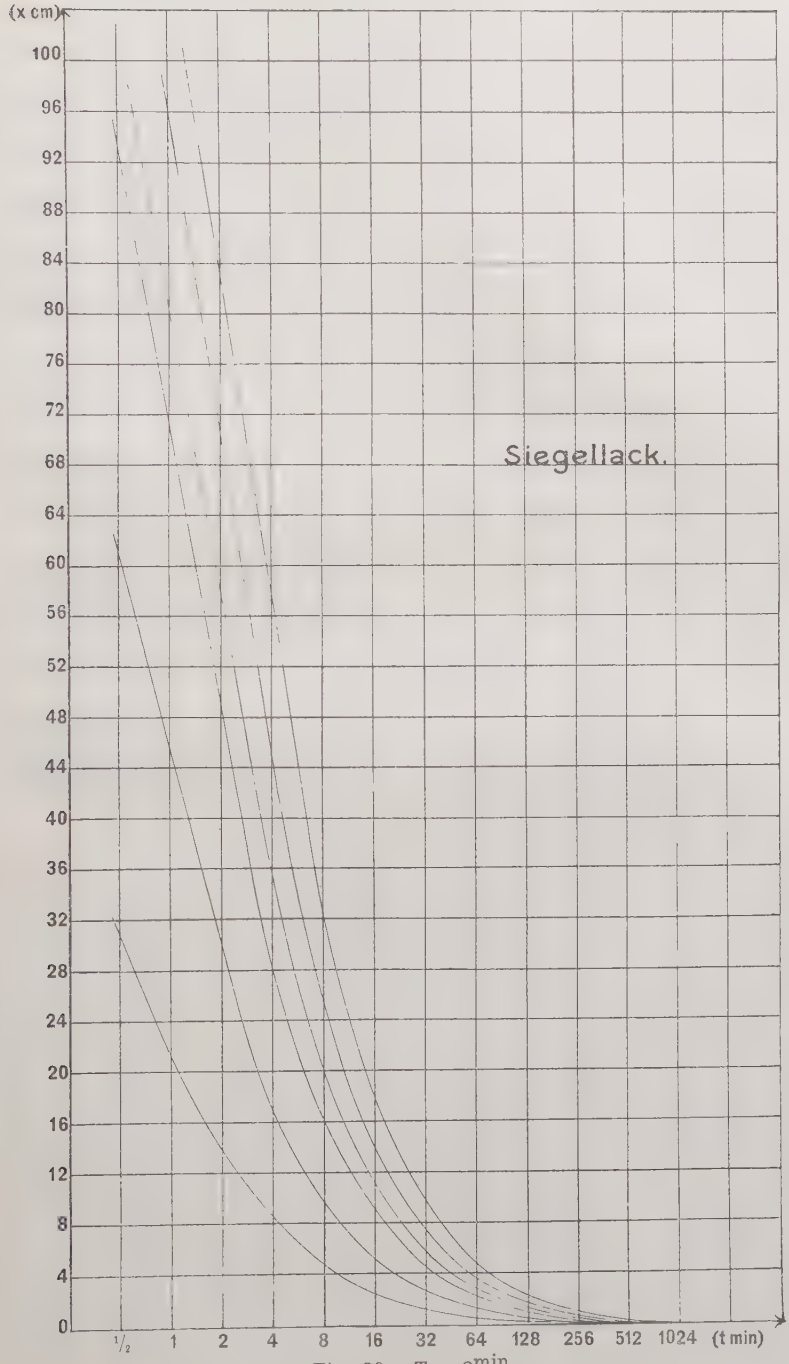

(x cm)
100
96
92
88
84
80
76
72
68
64
60
56
52
48
44
40
36
32
28
24
20
16
12
8
4
0
Siegellack.
1/2
1
2
4
8
16
32
64
128
256
512
1024
(t min)

Fig. 20. $T = 2^{min}$

Siegellack.

V	T	x	t
2630 ₩	2^{min}	13.37	16^m 35.1^s
		12.41	18′ 42.6″
		10.71	22′ 16.9″
		9.42	25′ 41.2″
		7.89	30′ 27.6″
		7.14	33′ 40.6″
		6.27	38′ 15.4″
		5.9	42′ 3.5″
		4.66	51′ 29.8″
		3.6	62′ 39.9″
		3.03	75′ 36.2″
		2.2	99′ 50.5″
		1.68	118′ 27.4″
		1.2	160′ 37.5″
		0.97	181′ 50.2″
		0.73	226′ 25.5″
		0.41	279′ 5.8″
		0.24	340′ 19.3″
		0.12	403′ 3.5″
		0.04	465′ 2.9″

V	T	x	t
2130 ₩	2^{min}	—	0^m 30^s
		80.96	1′ 0″
		56.82	2′ 2.4″
		41.74	3′ 22.9″
		33.56	4′ 26.4″
		28.85	5′ 28.8″
		24.19	6′ 48.2″
		21.38	7′ 33.6″
		18.92	8′ 38.4″
		17.84	9′ 31.2″
		16.75	10′ 22.0″
		13.1	13′ 41.4″
		10.49	17′ 6.3″
		9.13	20′ 24.2″
		7.9	23′ 45.4″
		6.81	27′ 24.7″
		5.91	30′ 51.5″
		5.39	34′ 24.3″
		4.66	39′ 40.7″
		4.12	44′ 48.7″
		3.66	51′ 9.2″
		3.03	59′ 3.3″
		2.51	69′ 25.3″
		2.16	79′ 50.7″
		1.67	95′ 54.5″
		1.37	111′ 36.7″
		1.02	129′ 45.7″
		0.77	160′ 15.2″
		0.43	211′ 51.0″
		0.19	257′ 43.0″
		0.2	296′ 43.5″
		0.08	369′ 4.9″
		0.05	448′ 46.4″

V	T	x	t
1630 ₩	2^{min}	93.76	0^m 30^s
		70.94	1′ 0″
		48.1	2′ 1.2″
		32.11	3′ 27.1″
		26.79	4′ 9.6″
		23.28	5′ 12.0″
		18.62	6′ 55.3″
		17.95	7′ 8.1″
		15.33	8′ 28.8″
		14.2	9′ 31.2″
		12.91	10′ 34.4″
		10.44	13′ 39.8″
		8.4	17′ 23.0″
		7.28	20′ 47.7″
		6.18	24′ 25.2″
		5.43	27′ 46.5″
		4.75	31′ 8.7″
		4.24	34′ 35.4″
		3.76	40′ 0″
		3.27	45′ 15.3″
		2.96	50′ 40.7″
		2.35	61′ 5.7″
		1.99	71′ 40.9″
		1.57	88′ 47.2″
		1.38	93′ 44.6″
		1.08	115′ 21.9″
		0.92	125′ 5.2″
		0.7	155′ 11.5″
		0.44	201′ 17.0″
		0.31	252′ 24.3″
		0.17	282′ 38.3″
		0.01	362′ 28.4″

V	T	x	t
980 ₩	2^{min}	61.1	0^m 30^s
		45.46	1′ 0″
		28.56	2′ 12.0″
		17.55	3′ 54.8″
		15.41	4′ 33.6″
		13.86	5′ 19.2″
		11.92	6′ 24.0″
		10.49	7′ 19.3″
		9.2	8′ 14.4″
		8.56	9′ 16.8″
		7.56	10′ 48.0″
		7.39	11′ 8.4″
		5.84	14′ 22.8″
		4.73	18′ 0.6″
		3.91	21′ 41.2″
		3.46	25′ 0.2″
		2.95	28′ 44.7″
		2.53	32′ 14.9″
		2.38	35′ 35.6″
		1.99	41′ 20.8″

Siegellack.

V	T	x	t
980 V	2 min	1.52	53m 52.2s
		1.21	64′ 42.2″
		1.05	75′ 11.1″
		0.88	85′ 47.4″
		0.8	91′ 30.0″
		0.64	102′ 55.6″
		0.4	133′ 34.0″
		0.21	182′ 20.3″
		0.09	227′ 40.6″
		0.01	294′ 5.7″

V	T	x	t
470 V	2 min	31.03	0m 30s
		21.0	1′ 0″
		13.48	2′ 1.2″
		9.05	3′ 44.9″
		8.55	4′ 0.7″
		7.12	5′ 16.8″
		5.81	6′ 40.8″
		5.24	7′ 19.5″
		4.48	8′ 38.4″
		4.12	9′ 31.2″
		3.87	10′ 43.2″
		3.68	11′ 1.5″
		2.84	14′ 19.5″
		2.29	17′ 48.0″
		2.01	21′ 18.5″
		1.62	24′ 43.4″
		1.43	28′ 25.2″
		1.25	31′ 52.2″
		1.01	35′ 32.7″
		0.9	40′ 48.8″
		0.74	49′ 5.0″
		0.47	62′ 24.0″
		0.32	70′ 34.1″
		0.25	86′ 21.5″
		0.11	100′ 17.1″
		0.07	118′ 20.9″
		0.01	148′ 37.7″

V	T	x	t
3220 V	1 min	—	0m 30s
		78.64	1′ 0″
		52.88	2′ 1.2″
		32.23	3′ 44.1″
		29.29	4′ 7.9″
		24.4	5′ 21.6″
		19.49	6′ 49.3″
		16.96	7′ 42.2″
		15.34	8′ 38.4″
		14.32	9′ 31.2″
		13.71	10′ 8.5″
		10.67	13′ 25.1″
		9.52	14′ 35.0″

V	T	x	t
3220 V	1 min	7.74	18m 2.2s
		6.63	21′ 25.3″
		5.81	24′ 46.7″
		5.04	28′ 3.3″
		4.28	31′ 29.3″
		3.99	34′ 50.5″
		3.39	41′ 15.6″
		2.97	47′ 18.8″
		2.51	53′ 17.0″
		2.29	58′ 58.8″
		2.0	67′ 38.8″
		1.66	78′ 7.8″
		1.32	94′ 58.3″
		1.1	111′ 31.4″
		0.8	128′ 59.1″
		0.6	181′ 11.1″
		0.39	243′ 32.6″
		0.3	289′ 23.1″
		0.2	350′ 59.3″
		0.13	413′ 24.8″
		0.01	474′ 28.8″

V	T	x	t
2630 V	1 min	95.31	0m 30s
		69.92	1′ 0″
		45.04	2′ 0″
		25.56	3′ 42.4″
		22.98	4′ 4.3″
		19.44	5′ 12.0″
		16.46	6′ 16.8″
		13.96	7′ 32.7″
		12.4	8′ 33.6″
		11.65	9′ 21.6″
		10.38	10′ 41.1″
		8.2	14′ 4.3″
		6.67	17′ 36.3″
		5.36	21′ 33.9″
		4.67	24′ 48.5″
		4.1	28′ 7.3″
		3.62	31′ 28.5″
		3.28	35′ 1.4″
		2.78	40′ 25.5″
		2.48	47′ 3.5″
		2.17	52′ 21.3″
		1.84	59′ 46.5″
		1.62	67′ 31.8″
		1.33	81′ 3.1″
		1.07	94′ 46.4″
		0.93	110′ 35.3″
		0.5	143′ 25.3″
		0.29	197′ 12.3″
		0.15	242′ 12.0″
		0.06	304′ 11.2″

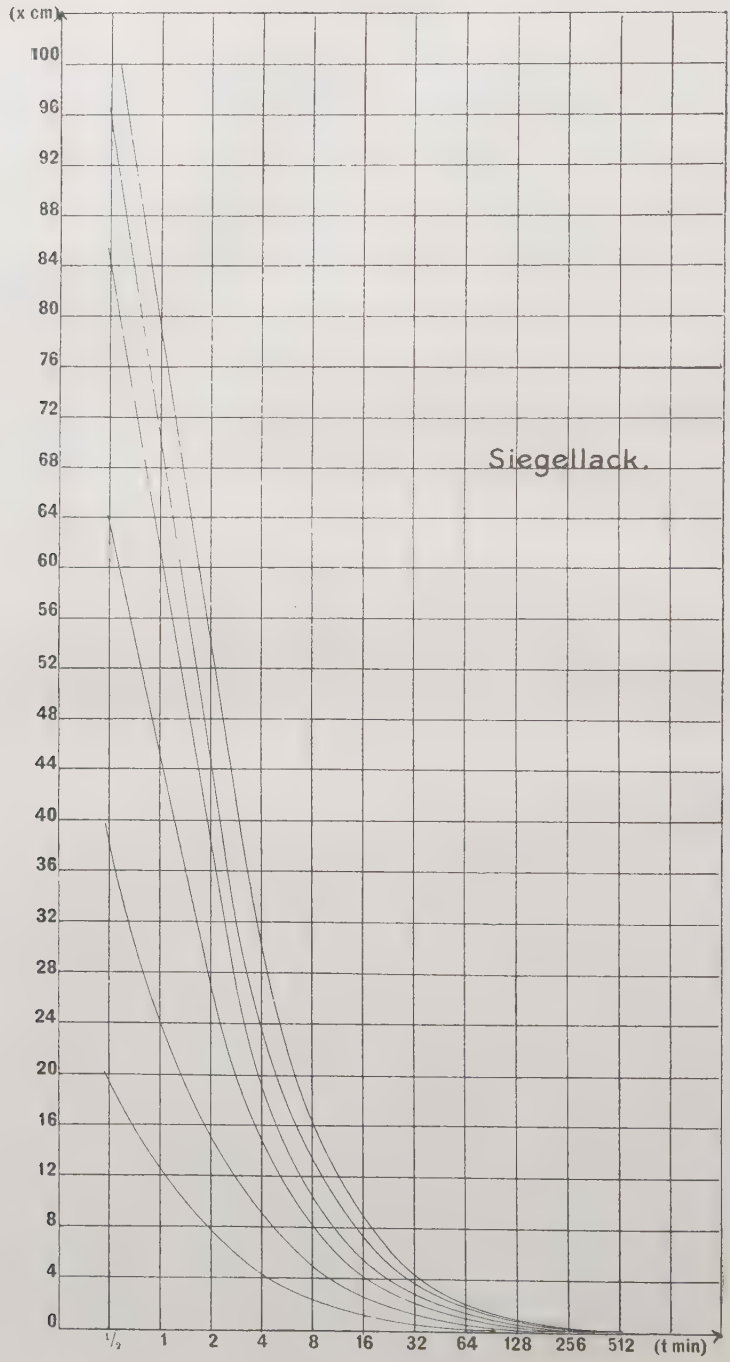

(x cm)
100
96
92
88
84
80
76
72
68
64
60
56
52
48
44
40
36
32
28
24
20
16
12
8
4
0
Siegellack.
1/2
1
2
4
8
16
32
64
128
256
512
(t min)

Fig. 21. $T = 1^{min}$

Siegellack.

V	T	x	t
2120 V	1 min	84.04	0m 30s
		61.13	1′ 0″
		36.83	2′ 6.0″
		19.77	3′ 52.0″
		18.75	4′ 4.3″
		15.3	5′ 24.0″
		13.16	6′ 26.4″
		10.82	7′ 37.8″
		10.0	8′ 19.2″
		9.11	9′ 31.2″
		8.35	10′ 43.7″
		6.24	13′ 59.6″
		5.73	15′ 10.6″
		4.61	19′ 3.0″
		3.92	22′ 28.2″
		3.31	26′ 1.4″
		3.0	29′ 20.5″
		2.57	32′ 22.6″
		2.41	35′ 35.9″
		2.19	42′ 14.9″
		2.0	47′ 36.1″
		1.8	52′ 41.5″
		1.52	59′ 53.2″
		1.22	66′ 37.1″
		0.95	82′ 55.5″
		0.76	100′ 2.8″
		0.57	115′ 44.4″
		0.38	136′ 51.8″
		0.17	184′ 17.1″
		0.03	239′ 31.2″

V	T	x	t
1630 V	1 min	63.42	0m 30s
		45.0	1′ 0″
		25.24	2′ 10.8″
		15.64	3′ 44.8″
		13.88	4′ 19.2″
		11.96	5′ 21.6″
		10.08	6′ 28.8″
		8.34	7′ 39.8″
		7.76	8′ 14.4″
		7.04	9′ 26.4″
		6.01	10′ 56.1″
		4.72	14′ 17.3″
		3.85	17′ 31.7″
		3.33	20′ 55.6″
		2.79	24′ 37.6″
		2.38	28′ 33.3″
		2.14	31′ 58.5″
		1.84	35′ 45.1″
		1.58	41′ 34.3″
		1.41	47′ 21.3″
		1.17	55′ 32.2″
		0.9	63′ 29.2″

V	T	x	t
1630 V	1 min	0.8	72m 43.5s
		0.61	88′ 9.2″
		0.49	105′ 12.6″
		0.32	142′ 49.0″
		0.18	158′ 33.6″
		0.11	170′ 14.4″
		0.08	193′ 16.8″

V	T	x	t
980 V	1 min	38.44	0m 30s
		24.01	1′ 0″
		14.44	2′ 7.2″
		9.38	3′ 49.0″
		8.61	4′ 6.7″
		7.11	5′ 33.6″
		5.67	6′ 56.2″
		4.95	7′ 43.3″
		4.51	8′ 43.2″
		4.12	9′ 36.0″
		3.95	10′ 14.4″
		3.56	11′ 33.2″
		2.64	14′ 54.1″
		2.24	18′ 17.2″
		1.87	21′ 56.6″
		1.56	25′ 18.2″
		1.39	28′ 38.5″
		1.12	32′ 30.3″
		1.08	36′ 22.5″
		0.84	41′ 47.0″
		0.7	49′ 28.3″
		0.54	54′ 59.0″
		0.46	60′ 45.0″
		0.45	68′ 19.6″
		0.28	82′ 33.6″
		0.16	99′ 12.0″
		0.09	113′ 53.8″
		0.03	134′ 50.9″
		0.01	182′ 29.5″

V	T	x	t
480 V	1 min	19.29	0m 30s
		12.48	1′ 0″
		7.51	2′ 0″
		4.75	3′ 35.5″
		3.96	4′ 22.2″
		3.36	5′ 16.8″
		2.76	6′ 43.0″
		2.28	7′ 38.4″
		2.1	8′ 33.8″
		1.94	9′ 53.6″
		1.79	10′ 57.6″
		1.44	12′ 12.2″
		1.18	15′ 27.0″
		0.97	18′ 54.5″

Siegellack.

V	T	x	t	V	T	x	t
480 V	1^{min}	0.77	23^m 13.0^s	480 V	1^{min}	0.31	42^m 34.1^s
		0.58	26′ 51.4″			0.15	53′ 2.8″
		0.5	30′ 25.5″			0.11	63′ 50.4″
		0.42	33′ 47.2″			0.08	85′ 9.9″
		0.34	36′ 49.5″			0.02	92′ 4.3″

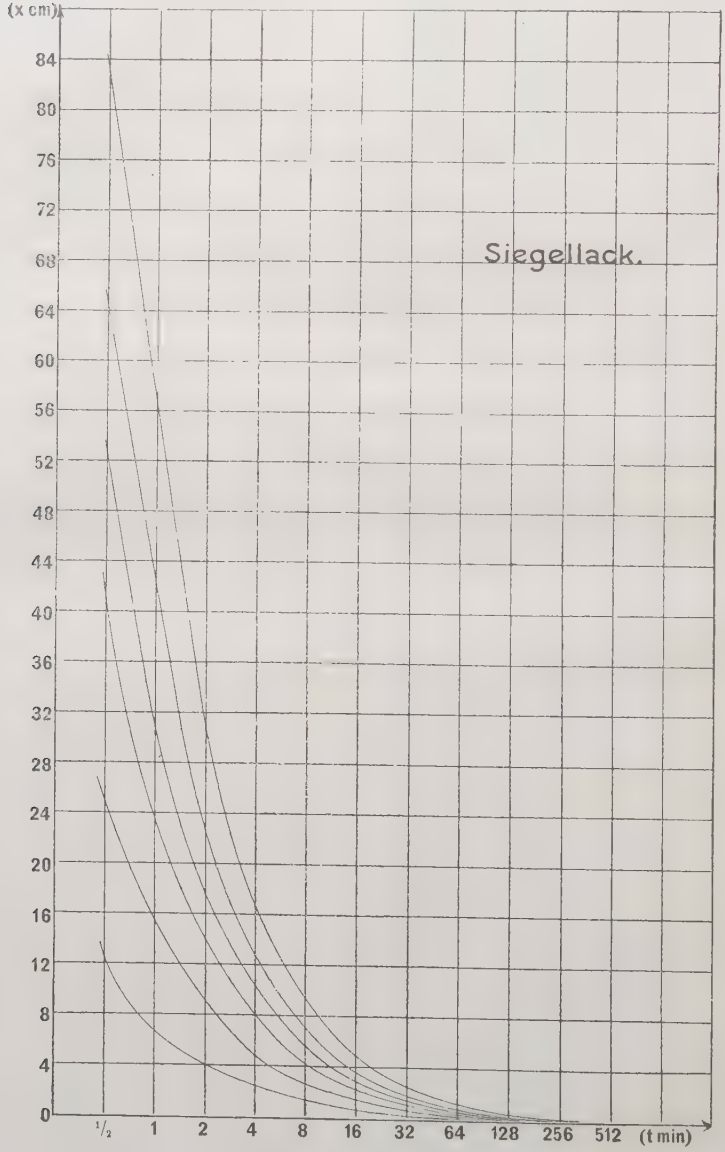


Fig. 22. $T = {}^1/_2{}^{min}$

Siegellack.

V	T	x	t
3240 $\sqrt{V}$	$^1/_2$ min	82.8	0m 30s
		56.25	1′ 0″
		29.24	2′ 3.6″
		16.96	3′ 53.0″
		15.14	4′ 34.3″
		13.2	5′ 31.2″
		11.68	6′ 24.0″
		9.75	7′ 35.9″
		8.8	8′ 32.8″
		8.04	9′ 36.0″
		7.64	10′ 19.2″
		6.77	11′ 49.4″
		5.13	15′ 1.5″
		4.54	17′ 6.0″
		3.99	20′ 10.7″
		3.27	24′ 28.1″
		2.75	28′ 20.2″
		2.51	31′ 34.5″
		2.02	38′ 26.5″
		1.96	41′ 42.6″
		1.84	47′ 5.6″
		1.52	52′ 33.3″
		1.14	63′ 8.6″
		1.07	74′ 52.8″
		0.92	79′ 21.6″
		0.78	88′ 12.0″
		0.69	105′ 31.9″
		0.36	138′ 6.9″
		0.27	170′ 50.1″
		0.15	201′ 5.4″
		0.07	262′ 45.6″
		0.01	337′ 2.8″

V	T	x	t
2630 $\sqrt{V}$	$^1/_2$ min	64.39	0m 30s
		41.4	1′ 0″
		22.4	2′ 1.2″
		13.16	3′ 56.3″
		12.25	4′ 14.4″
		10.68	5′ 12.0″
		9.07	6′ 19.2″
		7.65	7′ 25.5″
		6.66	8′ 28.8″
		6.16	9′ 26.4″
		5.72	10′ 19.2″
		5.34	11′ 14.3″
		3.96	14′ 42.9″
		3.26	18′ 22.2″
		2.68	21′ 44.5″
		2.37	25′ 17.6″
		2.04	28′ 46.0″
		1.84	32′ 11.4″
		1.72	35′ 43.7″
		1.46	39′ 25.9″

V	T	x	t
2630 $\sqrt{V}$	$^1/_2$ min	1.34	44m 55.5s
		1.22	50′ 35.1″
		0.96	56′ 14.9″
		0.81	62′ 5.7″
		0.79	67′ 53.4″
		0.5	91′ 11.8″
		0.48	106′ 52.5″
		0.35	122′ 34.1″
		0.19	156′ 48.6″
		0.11	220′ 41.1″
		0.04	262′ 7.4″

V	T	x	t
2120 $\sqrt{V}$	$^1/_2$ min	53.07	0m 30s
		30.52	1′ 0″
		16.9	2′ 6.0″
		10.97	3′ 43.9″
		9.73	4′ 16.8″
		8.39	5′ 16.8″
		6.4	6′ 52.0″
		5.99	7′ 24.0″
		5.16	8′ 33.6″
		4.76	9′ 31.2″
		4.66	10′ 3.6″
		3.5	13′ 6.7″
		2.75	16′ 4.1″
		2.41	19′ 29.5″
		2.11	23′ 1.9″
		1.83	26′ 45.0″
		1.47	31′ 6.7″
		1.26	34′ 45.5″
		0.88	44′ 23.5″
		0.78	51′ 49.2″
		0.71	59′ 17.1″
		0.63	68′ 35.2″
		0.52	75′ 53.1″
		0.4	96′ 24.2″
		0.33	107′ 26.9″
		0.22	122′ 31.9″
		0.16	154′ 4.5″
		0.1	186′ 11.3″
		0.02	220′ 56.2″

V	T	x	t
1630 $\sqrt{V}$	$^1/_2$ min	40.65	0m 30s
		23.2	1′ 0″
		13.48	2′ 3.6″
		8.71	3′ 38.5″
		7.49	4′ 16.8″
		6.61	5′ 7.2″
		4.96	6′ 52.7″
		4.81	7′ 10.2″
		3.97	8′ 24.0″

Siegellack.

V	T	x	t
1630 V	1/2 min	3.6	9m 31.2s
		3.31	10′ 34.7″
		2.55	14′ 11.5″
		2.1	17′ 49.1″
		1.7	21′ 28.0″
		1.52	24′ 51.0″
		1.22	28′ 24.1″
		1.12	31′ 34.8″
		1.01	35′ 26.2″
		0.87	40′ 51.6″
		0.79	46′ 27.6″
		0.66	52′ 12.4″
		0.57	58′ 13.6″
		0.46	64′ 35.8″
		0.31	95′ 56.1″
		0.25	118′ 46.7″
		0.13	158′ 51.1″
		0.04	202′ 28.1″

V	T	x	t
980 V	1/2 min	24.84	0m 30s
		14.84	1′ 0″
		8.4	2′ 7.2″
		5.15	3′ 42.1″
		4.55	4′ 14.4″
		3.72	5′ 26.4″
		2.87	6′ 57.0″
		2.63	7′ 38.4″
		2.41	8′ 19.2″
		2.24	9′ 12.0″
		2.05	10′ 4.4″
		1.56	13′ 15.5″
		1.24	16′ 50.4″
		1.01	20′ 39.8″
		0.93	23′ 51.0″
		0.76	27′ 26.5″
		0.52	35′ 56.4″
		0.44	41′ 56.2″
		0.36	50′ 31.0″
		0.25	60′ 55.6″
		0.13	72′ 57.6″
		0.09	99′ 37 2″
		0.02	116′ 23.3″

V	T	x	t
480 V	1/2 min	12.05	0m 30s
		6.36	1′ 0″
		3.68	2′ 10.8″
		2.38	3′ 46.2″
		2.05	4′ 33.6″
		1.88	5′ 14.4″
		1.37	6′ 50.5″
		1.32	7′ 19.2″
		1.12	8′ 38.4″

V	T	x	t
480 V	1/2 min	1.0	9m 40.8s
		0.95	10′ 53.3′
		0.65	13′ 59.9″
		0.54	19′ 2.4″
		0.46	22′ 4.6″
		0.33	25′ 29.2″
		0.31	27′ 58.7″
		0.23	31′ 34.3″
		0.2	35′ 23.2″
		0.09	41′ 15.6″
		0.05	46′ 44.2″
		0.03	52′ 8.0″
		0.01	61′ 29.8″

V	T	x	t
3240 V	1/4 min	48.65	0m 30s
		25.53	1′ 0″
		15.04	2′ 0″
		8 93	3′ 52.1″
		8.2	4′ 45.6″
		6.65	5′ 43.2″
		6 04	6′ 21.6″
		5.28	7′ 5.2″
		4.32	8′ 33.6″
		4.09	9′ 16.8″
		3.56	10′ 23.1″
		2.94	13′ 53.6″
		2.35	16′ 59.4″
		2.0	20′ 28.6″
		1.73	23′ 44.3″
		1.55	27′ 21.0″
		1.3	30′ 59.6″
		1.16	34′ 59.4″
		1.03	40′ 20.8″
		0.85	45′ 33.7″
		0.66	52′ 29.9″
		0.57	58′ 15.0″
		0.5	64′ 3.1″
		0.41	72′ 36.1″
		0.31	86′ 24.0″
		0.28	94′ 16.7″
		0.21	108′ 27.0″
		0.19	126′ 48.3″
		0.12	146′ 50.3″

V	T	x	t
2630 V	1/4 min	39.14	0m 30s
		20.9	1′ 0″
		11.51	2′ 10.8″
		7.63	3′ 36.3″
		6.11	4′ 31.2″
		5.43	5′ 19.2″
		4.68	6′ 14.4″
		3.99	7′ 7.2″

Siegellack.

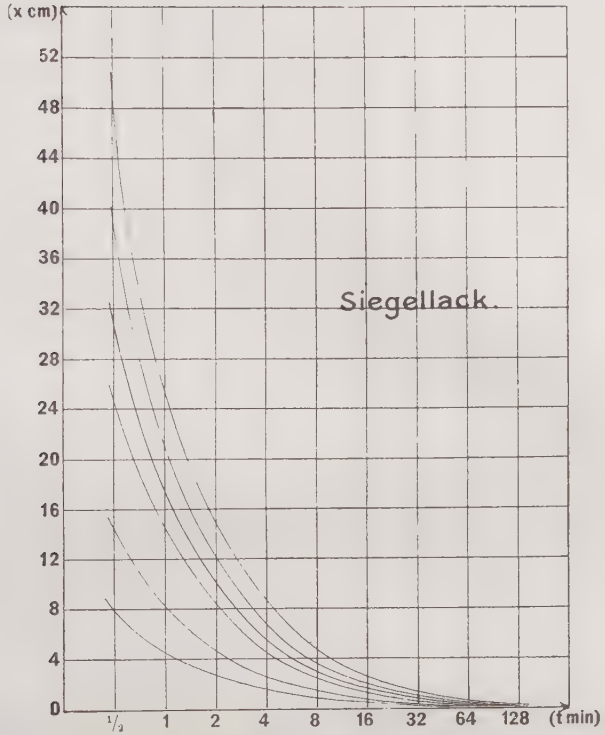


Fig. 23. $T = {}^{1}/_{4}$ min

V	T	x	t
2630 $\sqrt{V}$	$^{1}/_{4}$ min	3.4	$8^{m}\ 28.8^{s}$
		3.16	9′ 26.4″
		2.95	10′ 27.7″
		2.3	13′ 35.2″
		1.65	18′ 26.0″
		1.45	22′ 0.4″
		1.24	25′ 19.4″
		1.04	29′ 5.6″
		0.8	32′ 48.1″
		0.72	36′ 47.9″
		0.69	42′ 42.5″
		0.61	49′ 25.1″
		0.49	57′ 12.4″
		0.39	63′ 23.6″
		0.33	70′ 6.7″
		0.23	90′ 43.7″
		0.04	136′ 49.3″

V	T	x	t
2120 $\sqrt{V}$	$^{1}/_{4}$ min	31.02	$0^{m}\ 30^{s}$
		17.27	1′ 0″

V	T	x	t
2120 $\sqrt{V}$	$^{1}/_{4}$ min	9.85	$2^{m}\ 3.6^{s}$
		5.8	3′ 47.2″
		4.86	4′ 36.0″
		4.04	5′ 38.4″
		3.27	6′ 57.4″
		2.95	7′ 45.6″
		2.64	8′ 48.0″
		2.39	9′ 53.5″
		2.28	10′ 57.6″
		1.84	13′ 4.6″
		1.41	16′ 53.9″
		1.25	20′ 18.9″
		1.06	23′ 33.8″
		0.95	27′ 6.3″
		0.79	32′ 3.7″
		0.68	38′ 29.8″
		0.41	49′ 40 8″
		0.3	64′ 34.4″
		0.25	75′ 51.3″
		0.09	106′ 21.9″

Siegellack.

V	T	x	t
1630 V	1/4 min	24.75	0m 30s
		14.44	1′ 0″
		7.84	2′ 13.2″
		4.61	3′ 49.1″
		4.25	4′ 6.1″
		3.47	5′ 19.2″
		2.84	6′ 38.4″
		2.47	7′ 26.3″
		2.28	8′ 33.6″
		2.01	9′ 26.4″
		1.76	10′ 44.5″
		1.25	14′ 5.2″
		1.02	17′ 33.0″
		0.92	21′ 1.6″
		0.68	27′ 31.3″
		0.58	32′ 49.0″
		0.47	35′ 53.7″
		0.42	39′ 24.7″
		0.39	45′ 14·2″
		0.31	52′ 23.2″
		0.24	62′ 48.0″
		0.16	79′ 21.6″
		0.08	91′ 31.2″
		0.04	129′ 16.8″
		0.01	150′ 43.7″

V	T	x	t
980 V	1/4 min	14.37	0m 30s
		8.02	1′ 0″
		4.28	2′ 4.8″
		2.77	3′ 54.4″
		2.24	4′ 45.6″
		1.9	5′ 31.2″
		1.68	6′ 21.6″
		1.56	7′ 18 9″
		1.29	8′ 33.6″

V	T	x	t
980 V	1/4 min	1.16	9m 40.8s
		0.99	10′ 51.0″
		0.76	13′ 56.9″
		0.53	17′ 48.1″
		0.49	20′ 47.9″
		0.39	24′ 11.1″
		0.35	27′ 19.5″
		0.3	30′ 27.7″
		0.25	33′ 47.4″
		0.21	40′ 24.7″
		0.16	50′ 1.8″
		0.09	65′ 56.4″
		0.03	76′ 41.5″

V	T	x	t
480 V	1/4 min	7.73	0m 30s
		4.38	1′ 0″
		2.52	2′ 6.0″
		1.43	3′ 55.0″
		1.28	4′ 28.8″
		1.08	5′ 38.4″
		0.93	6′ 40.8″
		0.85	7′ 10.4″
		0.72	8′ 38.4″
		0.69	9′ 26.4″
		0.53	10′ 14.6″
		0.4	13′ 34.2″
		0.38	16′ 47.8″
		0.35	19′ 57.3″
		0.28	23′ 47.4″
		0.2	28′ 50.1″
		0.12	34′ 6.3″
		0.07	39′ 2.8″
		0.04	48′ 9.7″

Immerhin verursachen eine Expositionszeit von 3 Minuten und eine Spannung von — 1630 Volt eine 9stündige Nachwirkung. Bei kleinem T und V verschwindet bereits nach $^3/_4$ Stunden die Erregung.

Überraschend wirkt die Tatsache, daß bei $T = {}^1/_4$ Minute und $V = -490$ Volt bei allen Isolatoren nach $t = 30$ Sekunden ungefähr dieselbe Erregung beobachtet wird, und die Abklingungskurve fast nach derselben Zeit verläuft. Alle untersuchten Dielektrika lassen die Gesetzmäßigkeit erkennen, die aussagt, daß für sehr kleine T und V der Verlauf der Nachwirkung konstant ist.

Für größere V und T zeigen die vier Isolatoren ein unter sich vollkommen verschiedenes Verhalten. Öfters können wir beobachten, daß bei demselben T und V nach t = 30 Sekunden dieselbe dielektrische Erregung statthat, daß aber die Nachwirkungskurve der einzelnen Dielektrika vollkommen verschieden ist. Die gezeichneten Kurven weisen alle auf einen ganz regelmäßigen Verlauf der Nachwirkung hin. Sie wächst mit der Dauer und Stärke des elektrischen Feldes. Bei den meisten Beobachtungen nimmt sie während der ersten 10 Minuten sehr schnell linear ab, um dann später der t-Achse ihre konvexe Seite zuzukehren und langsam asymptotisch zu verlaufen. Die Geschwindigkeit, mit der wir uns der Ruhelage nähern, wird mit wachsender Größe und Dauer des elektrischen Feldes kleiner.

Die Größe der Nachwirkung kann bei der getroffenen Versuchsanordnung für t = 0 nicht beobachtet werden. Es bleibt daher die recht interessante Frage offen, ob die Verlängerung unserer Kurven bis zum Schnittpunkt mit der Ordinatenachse den wirklichen Verlauf darstellt. Wie zum Beispiel die Nachwirkungskurven von Paraffin und Schwefel lehren, scheint bei allen Isolatoren nach Aufhebung des erregenden elektrischen Feldes ein Wendepunkt aufzutreten, so daß das erste Stück der Nachwirkungskurve seine konkave Seite der t-Achse zuwendet.

b) Nachwirkungen von Paraffin und Schwefel.

Die Untersuchung von Paraffin und Schwefel bietet insofern hohes Interesse, weil immer noch die Frage strittig ist, ob beide Isolatoren eine Nachwirkung zeigen. Mit dieser Aufgabe beschäftigen sich die Arbeiten von C. Dieterici[1]), L. Arons[2]), H. Muraoka[3]), Hasenöhrl[4]). Nachdem Maxwell[5]) seine Theorie über das geschichtete Dielektrikum ausgebaut hatte, versuchten diese Autoren ihre Beobachtungen mit den theoretischen Folgerungen Maxwells in Einklang zu bringen. Diese Theorie, nach der im homogenen Dielektrikum kein Rückstand auftritt, ist durch

[1]) C. Dieterici (Wied. Ann. 25, p. 545, 1885).
[2]) L. Arons (Wied. Ann. 35, p. 291, 1888).
[3]) H. Muraoka (Wied. Ann. 40, p. 328, 1890).
[4]) Hasenöhrl, l. c.
[5]) Maxwell (Elektrizität und Magnetismus, p. 468, 1883, Deutsche Ausgabe).

Rowland und Nichols[1]) für Kalkspat, durch Hertz[2]) für Benzin, durch Arons, Muraoka und Hasenöhrl für Paraffin bestätigt. Wenn auch die Untersuchungsmethode der Rückstandsbildung prinzipiell von der unsrigen abweicht — denn bei den älteren Messungen ist das Dielektrikum meistens mit dem Kondensator fest verbunden — und dadurch weit kompliziertere Verhältnisse auftreten als bei unserer Versuchsanordnung, so läßt doch der ähnliche Verlauf des Rückstandes Schlüsse zu, die sich mit unseren Beobachtungen decken. Unsere Messungen zeigen eine deutliche Nachwirkung des Paraffins. Im Maxwellschen Sinne haben wir eine solche zu erwarten, denn ein Rückstand muß auftreten, wenn in dem untersuchten Körper das Verhältnis von Dielektrizitätskonstante und Leitungsvermögen oder die diesem Verhältnis proportionale Relaxationszeit nicht überall den gleichen Wert hat. Diesen Schluß zieht Maxwell aus den theoretischen Überlegungen, daß die Dielektrika durch ein einwirkendes elektrisches Feld einerseits dielektrisch polarisiert werden, andererseits nach dem Ohmschen Gesetze leiten. Beide Vorgänge superponieren sich im Dielektrikum. Diese Theorie ist in den mathematischen Ansätzen ausgesprochen: 1. der Poissonschen Gleichung:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(D\frac{\partial V}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(D\frac{\partial V}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(D\frac{\partial V}{\partial z}\right)+4\pi\rho=0$$

und 2. der Kontinuitätsgleichung:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial V}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial V}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial V}{\partial z}\right)-\frac{\partial \rho}{\partial t}=0$$

worin D die Dielektrizitätskonstante, r der spezifische Widerstand, ρ die Dichte der Elektrizität in einem Punkte und V das Potential in diesem Punkte bedeuten. Bei streng homogenen isotropen Körpern sind D und r konstant, wir erhalten daher die Beziehung:

$$\Delta V=-\frac{4\pi\rho}{D}=r\frac{\partial\rho}{\partial t}$$

und daraus $\rho = Ce^{-\frac{4\pi}{Dr}t}$

oder wenn $T=\frac{Dr}{4\pi}$ ist: $\rho = Ce^{-\frac{t}{T}}$

[1]) Rowland und Nichols (Phil. Mag. (5) 11, p. 414, 1881).
[2]) Hertz (Wied. Ann. 20, p. 279, 1883).

T bezeichnet man als Relaxationszeit, es ist dies der Zeitraum, innerhalb dessen das Potential auf den e-Teil seines Wertes herabsinkt. Ist T verschieden, so muß nach der Theorie ein Rückstand auftreten.

Bei unseren Versuchen haben wir zwischen den Elektroden des Kondensators eine Diskontinuitätsfläche, d. h. Trennungsfläche zweier verschiedener Dielektrika, nämlich Luft und Paraffin, mit verschiedenen Relaxationszeiten eingebettet, so daß die Maxwellsche Theorie für diesen Fall eine Erklärung des Phänomens bedingt. Eine andere Frage ist es, ob auch r von ∞ verschieden ist. Ehe wir dies an der Hand unserer Versuche besprechen wollen, lassen wir ältere Beobachtungen folgen. Arons führte Messungen mit einem Paraffinkondensator aus, der vollkommen rückstandsfrei war. Die Prüfung auf Isolation des ganzen Systems erwies sich als vorzüglich. Infolge der außerordentlichen Isolierfähigkeit nimmt er daher an, daß in einem Kondensator, dessen Dielektrikum aus einer Schicht Paraffin und einer Luftschicht besteht, kein Rückstand auftreten kann. Seine Versuche bestätigen diese Vermutung. Ähnliche Messungen Hasenöhrls mit einem Paraffinkondensator mit und ohne Luftschicht ergaben keinen Rückstand.

Eine Prüfung auf Leitvermögen des benutzten Paraffinzylinders gestattet unsere Versuchsanordnung nicht. Allerdings sind andere Zylinder derselben Substanz und derselben Form auf Isolation geprüft, indem ihre inneren Flächen mit einer Elektrode, die in ein Blättchenelektrometer eingesteckt ist, fest verbunden werden, während die äußeren Flächen eine direkte Ableitung zur Erde haben. Das Elektrometer zeigt keinen Spannungsverlust durch mangelhafte Isolation des benutzten Materials, so daß nach den Beobachtungen von Arons und Hasenöhrl unser Paraffin hätte rückstandsfrei sein müssen.

Eine zweite Möglichkeit, den Rückstand zu erklären, bietet ein Versuch von Arons. In einer Arbeit von Dieterici über den zeitlichen Verlauf der elektrischen Rückstandsbildung im Paraffin zeigt Paraffin einen bedeutenden Rückstand. Arons führt diese Beobachtung auf große Verunreinigung der Substanz zurück, was er bestätigt fand. Mit der größten Sorgfalt wurde daher unser Material nach einer von Hasenöhrl gegebenen Methode gereinigt, so daß auch die zweite Erklärung für die Nachwirkung bei Paraffin hinfällig ist.

Vielleicht gewähren die Versuchsbedingungen einen Aufschluß über das beobachtete Phänomen. Alle älteren Arbeiten sind mit Spannungen von durchschnittlich nur 200 Volt ausgeführt, während bei unseren Messungen auf Paraffin eine Spannung von —1650 Volt einwirkt. Kleinere Spannungen von —490 Volt bei einer Expositionszeit von $^1/_4$ Minute lösen eine Erregung von nur 1,1 Skalenteilen aus, so daß die Wahrscheinlichkeit nahe liegt, daß bei noch geringeren Spannungen kaum ein Ausschlag zu beobachten ist. Wir dürfen daher die Nachwirkung des Paraffin der Einwirkung des hohen Potentiales zuschreiben. Bei höheren Spannungen und längeren Expositionszeiten bis zu 3 und 2 Minuten scheint die Erregung sich einer Grenze zu nähern, denn bei V = —1630 Volt und T = 3 Minuten haben wir für t = 30 Sekunden x = 6,47 und für V = —3210 Volt und T = 2 Minuten nur 7,56 Skalenteile Ausschlag, also nur ganz geringe Differenzen, während die anderen Dielektrika in diesem Bereiche bedeutende Unterschiede aufweisen.

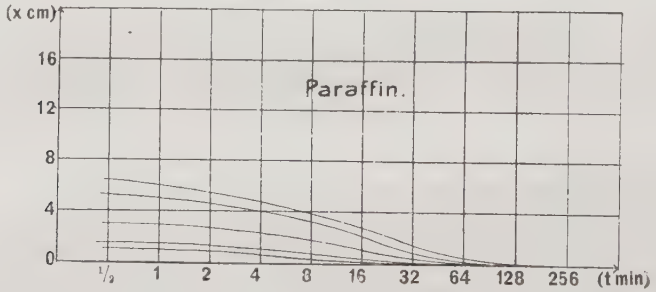


Fig. 24.

Paraffin.

V	T	x	t	V	T	x	t
1630 V	3 min	6.47	0m 30s	1630 V	3 min	2.22	19m 54.6s
		6.04	1′ 0″			1.98	23′ 33.5″
		5.43	2′ 8.4″			1.74	27′ 23.9″
		5.01	3′ 24.4″			1.48	30′ 53.4″
		4.68	4′ 16.8″			1.27	34′ 44.7″
		4.45	5′ 19.2″			1.05	39′ 57.3″
		4.09	6′ 34.7″			0.84	45′ 55.5″
		4.0	7′ 14.4″			0.52	56′ 22.5″
		3.77	8′ 33.6″			0.38	66′ 30.5″
		3.59	9′ 48.0″			0.28	78′ 9.6″
		3.43	10′ 52.8″			0.18	97′ 27.0″
		3.0	13′ 11.6″			0.14	129′ 1.8″
		2.63	16′ 37.5″			0.07	161′ 26.6″

Paraffin.

V	T	x	t
1630 $\sqrt{v}$	2^{min}	5.37	0^m 30^s
		5.09	1′ 0″
		4.66	2′ 3.6″
		4.2	3′ 33.3″
		3.97	4′ 28.8″
		3.81	5′ 31.2″
		3.44	6′ 41.0″
		3.32	7′ 38.4″
		3.12	8′ 48.0″
		3.04	9′ 40.8″
		2.89	10′ 23.7″
		2.39	13′ 57.1″
		1.91	18′ 44.4″
		1.6	22′ 16.1″
		1.23	25′ 34.3″
		1.04	28′ 54.3″
		0.91	32′ 23.6″
		0.7	35′ 57.7″
		0.5	42′ 43.1″
		0.31	53′ 11.5″
		0.17	81′ 57.5″
		0.08	119′ 15.8″

V	T	x	t
1630 $\sqrt{v}$	1^{min}	3.0	0^m 30^s
		2.96	1′ 0″
		2.72	2′ 15.6″
		2.38	3′ 46.7″
		2.32	4′ 45.6″
		2.16	5′ 33.6″
		1.99	6′ 54.1″
		1.88	7′ 57.6″
		1.75	8′ 48.0″
		1.67	9′ 40.8″
		1.59	10′ 37.3″
		1.19	14′ 4.8″
		0.91	18′ 4.8″
		0.68	21′ 52.7″
		0.48	25′ 28.7″
		0.36	29′ 19.4″

V	T	x	t
1630 $\sqrt{v}$	1^{min}	0.29	32^m 49.6^s
		0.14	44′ 59.9″
		0.07	55′ 17.9″

V	T	x	t
1630 $\sqrt{v}$	$^1/_2{}^{min}$	1.51	0^m 30^s
		1.43	1′ 0″
		1.24	2′ 8.4″
		1.02	3′ 28.5″
		0.92	4′ 21.6″
		0.87	5′ 16.8″
		0.81	6′ 19.2″
		0.77	7′ 37.3″
		0.68	8′ 24.0″
		0.55	9′ 55.8″
		0.49	10′ 37.9″
		0.44	13′ 41.5″
		0.33	16′ 47.9″
		0.27	20′ 24.0″
		0.2	29′ 59.2″
		0.17	36′ 21.2″
		0.09	44′ 55.8″
		0.03	58′ 39.2″

V	T	x	t
1630 $\sqrt{v}$	$^1/_4{}^{min}$	1.02	0^m 30^s
		0.96	1′ 0″
		0.76	2′ 9.6″
		0.61	3′ 14.9″
		0.45	4′ 16.8″
		0.4	5′ 28.8″
		0.39	6′ 16.2″
		0.3	7′ 48.0″
		0.28	8′ 43.2″
		0.26	9′ 34.2″
		0.21	10′ 57.6″
		0.16	13′ 6.8″
		0.13	22′ 54.6″
		0.11	28′ 5.8″

Ein dem Paraffin ganz analoges Verhalten zeigt Schwefel.

Schwefel.

V	T	x	t
1630 $\sqrt{v}$	3^{min}	7.56	0^m 30^s
		7.08	1′ 0″
		6.43	2′ 6.0″
		5.75	3′ 51.1″
		5.55	4′ 21.6″
		5.32	5′ 33.6″
		5.05	6′ 38.4″
		4.86	7′ 7.9″

V	T	x	t
1630 $\sqrt{v}$	3^{min}	4.59	8^m 28.8^s
		4.39	9′ 36.0″
		4.25	10′ 17.6″
		3.74	13′ 58.9″
		3.28	17′ 11.1″
		2.96	20′ 43.9″
		2.78	23′ 54.1″
		2.34	27′ 16.2″

Schwefel.

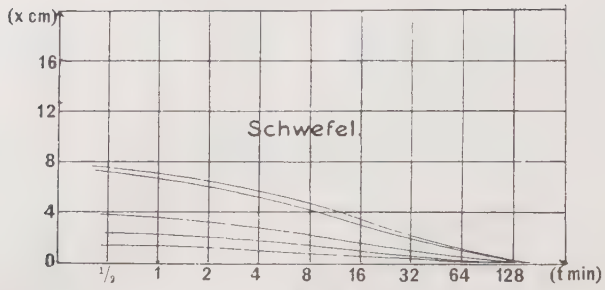


Fig. 25.

V	T	x	t
1630	3 min	2.17	30m 25.4s
		2.05	33′ 42.9″
		1.68	41′ 25.0″
		1.31	53′ 5.6″
		1.05	65′ 50.2″
		0.81	76′ 48.0″
		0.66	83′ 23.6″
		0.34	98′ 45.3″
		0.24	115′ 45.3″
		0.13	125′ 26.4″
		0.04	139′ 31.2″

V	T	x	t
1630	2 min	7.2	0m 30s
		6.68	1′ 0″
		5.93	2′ 4.8″
		5.22	3′ 42.3″
		5.04	4′ 26.4″
		4.71	5′ 31.2″
		4.5	6′ 36.0″
		4.31	7′ 6.7″
		4.0	8′ 43.2″
		3.87	9′ 45.6″
		3.8	10′ 20.3″
		3.29	13′ 30.1″
		2.85	17′ 39.1″
		2.51	21′ 10.3″
		2.38	24′ 42.8″
		2.18	27′ 57.2″
		1.98	31′ 47.1″
		1.78	35′ 35.9″
		1.61	41′ 23.8″
		1.5	47′ 22.6″
		1.31	52′ 54.8″
		1.15	60′ 57.0″
		0.8	70′ 24.0″
		0.64	85′ 7.2″
		0.3	99′ 12.0″
		0.09	126′ 43.2″

V	T	x	t
1630	1 min	3.86	0m 30s
		3.66	1′ 0″
		3.32	2′ 10.8″
		3.08	3′ 13.2″
		2.86	4′ 0.5″
		2.65	5′ 16.8″
		2.52	6′ 21.6″
		2.35	7′ 17.5″
		2.16	8′ 38.4″
		2.04	9′ 40.8″
		1.95	10′ 57.6″
		1.85	13′ 17.6″
		1.57	17′ 13.0″
		1.34	20′ 32.4″
		1.18	23′ 43.6″
		1.06	27′ 54.3″
		0.86	31′ 58.1″
		0.76	35′ 13.5″
		0.7	39′ 15.6″
		0.66	43′ 5.0″
		0.57	48′ 48.2″
		0.49	54′ 44.0″
		0.29	65′ 40.1″
		0.13	86′ 10.8″
		0.07	103′ 12.4″

V	T	x	t
1630	½ min	2.37	0m 30s
		2.2	1′ 0″
		2.01	2′ 13.2″
		1.79	3′ 36.9″
		1.69	4′ 21.6″
		1.55	5′ 33.6″
		1.42	6′ 38.4″
		1.32	7′ 43.2″
		1.26	8′ 48.0″
		1.19	9′ 45.6″
		1.13	10′ 38.4″
		0.95	14′ 12.5″

Schwefel.

V	T	x	t
1630	1/2 min	0.81	17m 39.1s
		0.7	20′ 51.7″
		0.52	24′ 28.6″
		0.41	27′ 33.8″
		0.38	30′ 44.3″
		0.23	41′ 17.7″
		0.18	52′ 0.9″
		0.07	62′ 3.7″

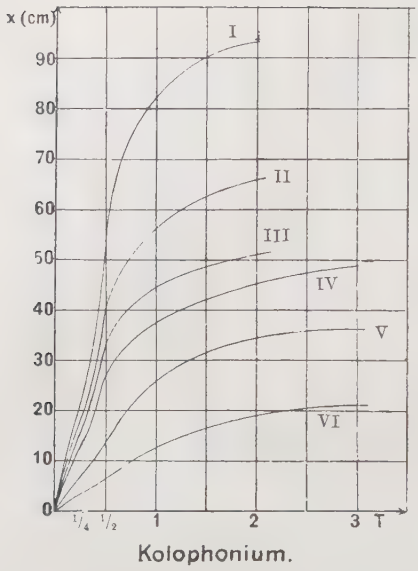
V	T	x	t
1630	1/4 min	1.4	0m 30s
		1.32	1′ 0″
		1.18	2′ 22.8″
		0.95	3′ 41.3″
		0.81	4′ 58.5″

V	T	x	t
1630	1 min	0.77	5m 52.8s
		0.72	6′ 43.2″
		0.69	7′ 45.6″
		0.66	8′ 57.6″
		0.64	9′ 55.2″
		0.62	10′ 11.6″
		0.6	13′ 51.8″
		0.58	15′ 14.9″
		0.46	18′ 30.9″
		0.35	21′ 53.5″
		0.3	25′ 26.2″
		0.29	28′ 57.1″
		0.16	35′ 14.2″
		0.06	48′ 38.4″

Auch Hasenöhrl fand bei Schwefel eine deutliche Nachwirkung. Höchst auffällig ist es, daß Paraffin sowohl wie Schwefel einen durchaus ähnlichen, ja fast gleichen Verlauf der Nachwirkung besitzen, der von dem der anderen Isolatoren vollkommen abweicht. Während die letzteren innerhalb des Beobachtungsgebietes nur einen Wendepunkt besitzen, treten bei den ersteren zwei Wendepunkte auf. Auch die Stärke der dielektrischen Erregung ist bei ihnen weit kleiner und erreicht für Paraffin $x = 6{,}47$ cm, für Schwefel einen größeren Betrag $x = 7{,}56$ cm. Im Vergleich zu der schwachen Erregung dauert die Nachwirkung sehr lange, bei Paraffin für $T = 3$ Minuten und $V = -1630$ Volt fast 3 und bei Schwefel für $T = 3$ Minuten und $V = -1630$ Volt fast 2 Stunden. Kleine Expositionszeiten und geringe Spannungen lösen auch hier wie bei den anderen benutzten Materialien Nachwirkungen von sehr kurzer Dauer aus.

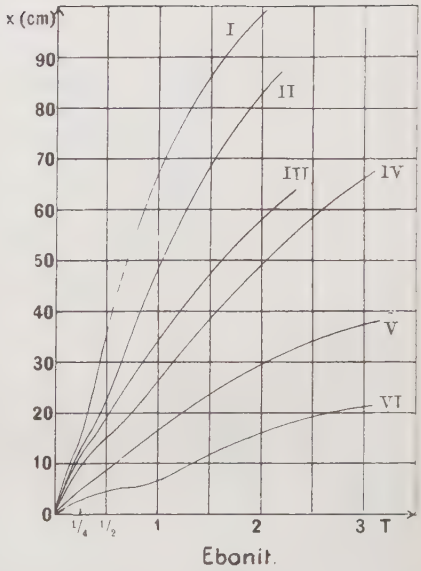
c) Abhängigkeit der Nachwirkungen von T und V.

Um die Größe der Nachwirkung für verschiedene T bei konstantem V zu veranschaulichen, greifen wir aus der Reihe von t und x ein bestimmt gewähltes t und x heraus. Wir nehmen den Wert $t = 1$ und bezeichnen nach Kohlrausch x_1 für $t = 1$ als die Größe der Nachwirkung. In umstehenden Figuren bezeichnen die mit I, II, III, IV, V und VI versehenen Kurven die für ein bestimmtes Potential ($I = -3210$, $II = -2620$, $III = -2120$, $IV = -1630$, $V = -980$ und $VI = -490$ Volt) gefundene Abhängigkeit der Größe der Nachwirkung von verschiedenem T. Bis zu $T = 1/4$ Minute wachsen die Nachwirkungs-



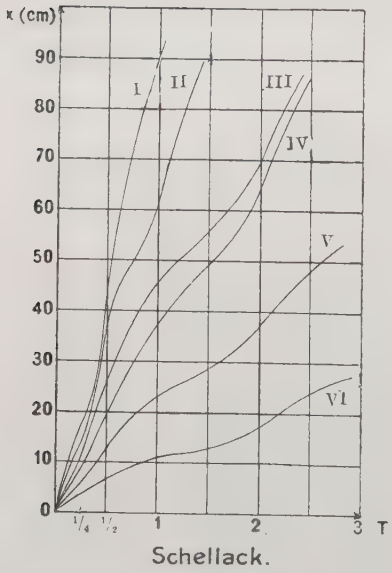
Kolophonium.

Fig. 26.



Ebonit.

Fig. 27.



Schellack.

Fig. 28.

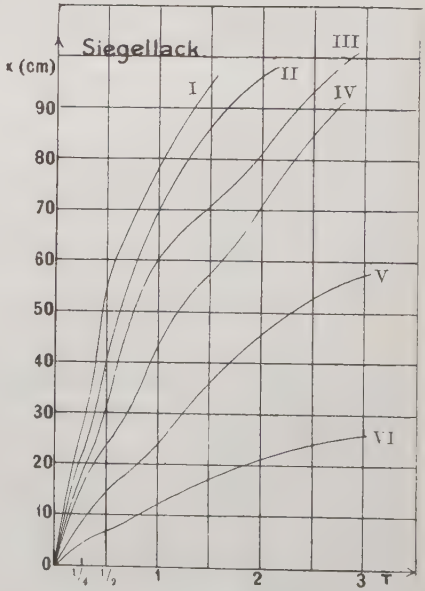


Fig. 29.

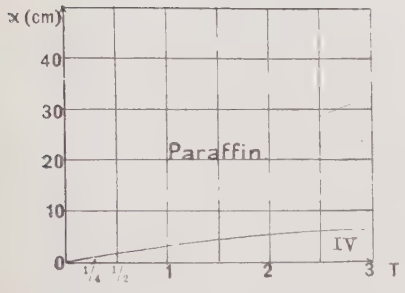


Fig. 30.

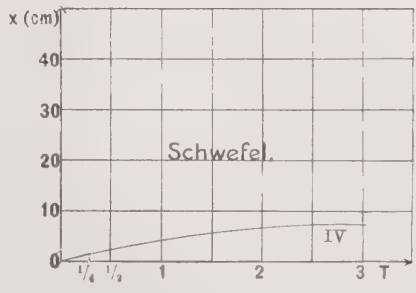


Fig. 31.

kurven mit einem Wendepunkt an und steigen dann weiterhin mit zwei oder mehreren Wendepunkten für kleinere V langsamer und für größere V schneller als die Größe T an, um mit wachsendem T sich langsam scheinbar einem Maximum zu nähern. Die verschiedenen Materialien zeigen einen vollkommen verschiedenen Verlauf.

Über die Größe der Nachwirkung für verschiedene Spannungen geben nachstehende Kurven Aufschluß.

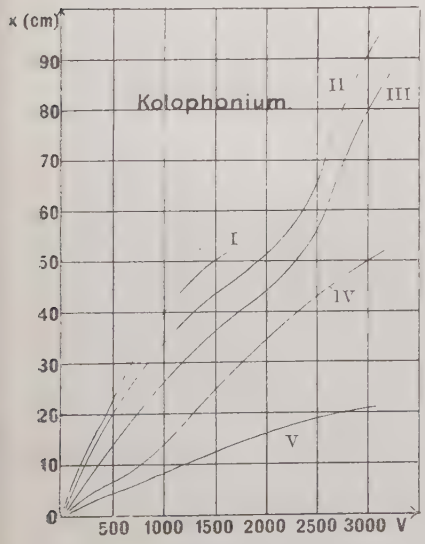


Fig. 32.

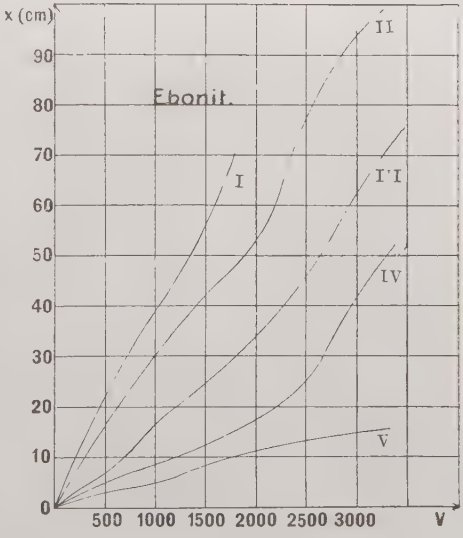


Fig. 33.

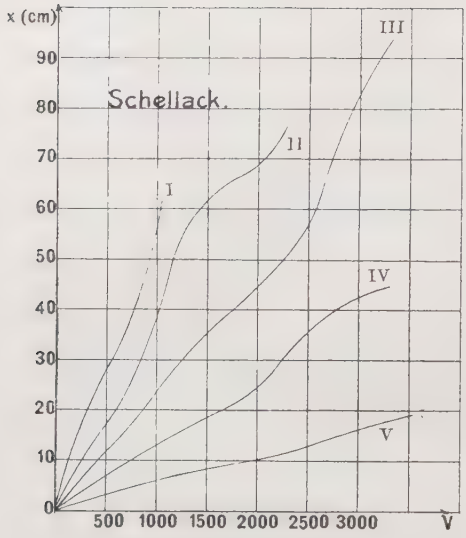


Fig. 34.

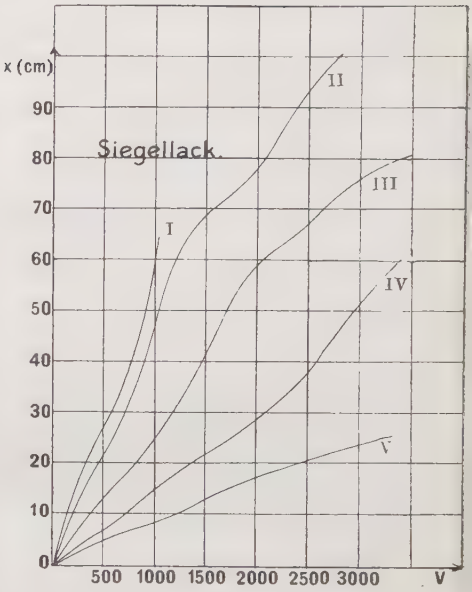


Fig. 35.

Die Bezeichnungen I, II, III, IV und V sind eingeführt für $T = 3$ Minuten (I), $T = 2$ Minuten (II), $T = 1$ Minute (III), $T = {}^1/_2$ Minute (IV) und $T = {}^1/_4$ Minute (V). Bei kleinem T wächst die Größe der Nachwirkung mit einem Wendepunkt bei V zirka 0—500 Volt langsam an, bei größerem T steigt sie schneller an als die Größe der Spannung. In den Kurven für größere T ist für $V = 0$—500 Volt der regelmäßige Wendepunkt deutlich ausgeprägt, bei wachsendem V finden wir oft zwei und mehrere Wendepunkte. Auch hier geben die verschiedenen Materialien ein vollkommen verschiedenes Bild der Größe der Nachwirkung.

Zum Schlusse folgt eine übersichtliche Darstellung der Nachwirkungskurven der untersuchten Dielektrika. Wir beschränken uns nur auf die Kurven, die sich für $T = 3$ Minuten und $V = -1630$ Volt ergeben.

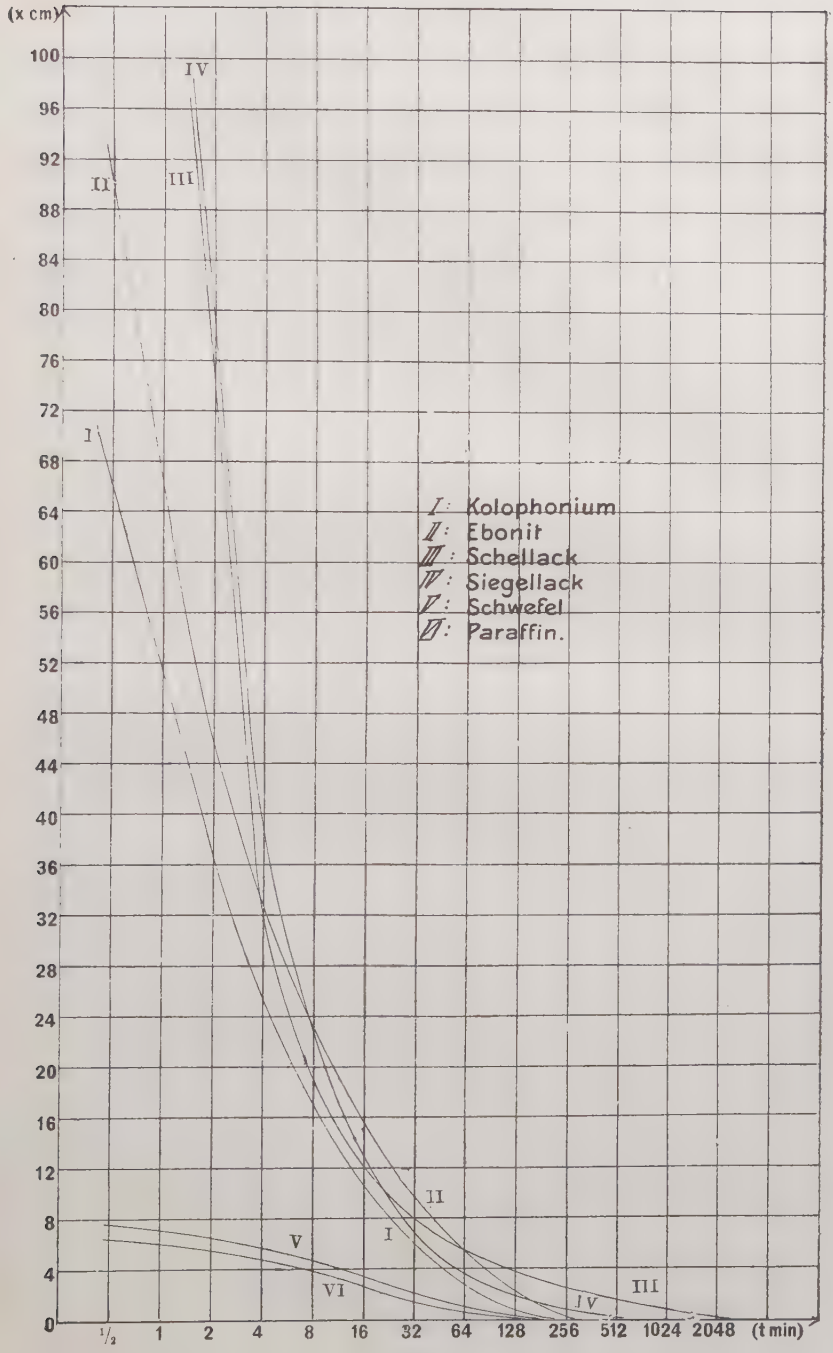

(x cm)
100
96
92
88
84
80
76
72
68
64
60
56
52
48
44
40
36
32
28
24
20
16
12
8
4
0
I
II
III
IV
V
VI
I: Kolophonium
II: Ebonit
III: Schellack
IV: Siegellack
V: Schwefel
VI: Paraffin.
1/2
1
2
4
8
16
32
64
128
256
512
1024
2048
(t min)

Fig. 36.

§ 6. Einfluß der Luftionen.

Seitdem die Forschungen über Radioaktivität in dem letzten Dezennium einen klaren Einblick in das Gebiet der luftelektrischen Erscheinungen eröffnet haben, dürfen wir nicht die Frage außer acht lassen, ob das schnelle Abklingen der Nachwirkung nicht etwa einem starken Einfluß der γ-Strahlen in der Luft zuzuschreiben ist. Denn H. Geitel[1]) und fast gleichzeitig C. T. R. Wilson[2]) fanden, daß die Luft, auch wenn sie von allen Staubteilchen befreit und eine Einwirkung radioaktiver Substanzen nicht zu befürchten ist, stets eine eigene, allerdings nur geringe Leitfähigkeit besitzt. Auf Grund ihrer Forschungen gelang es, den Jonengehalt der Luft pro ccm zu berechnen. Nach ihrer Methode hat dann später Harms[3]) Messungen angestellt, die darauf beruhen, die Entladungskurve eines in Luft isoliert aufgestellten geladenen Körpers zu ermitteln. Er benutzte dabei den Kunstgriff, diesen Körper nur im Augenblick der Messung mit dem Elektrometer zu verbinden.

In ähnlicher Weise wird unsere Beobachtung ausgeführt. Ein Metallzylinder von denselben Dimensionen wie die untersuchten Dielektrika wird an Kokonfäden isoliert aufgehängt. Eine mehrfache Prüfung auf Isolation fiel zur vollen Befriedigung aus. Der Zylinder wird genau wie die Isolatoren im Versuchsapparat aufgehängt und durch Berühren mit einer isolierten Messingstange, die mittels einer Weston-Batterie nach Krüger auf etwa 20 Volt aufgeladen ist, auf ein bestimmtes Potential gebracht, das gerade ausreicht, um den Meßbereich der Skala auszunutzen.

Der geladene Zylinder wird in den unteren Kondensator geführt und influenziert die innere Elektrode. Nach Aufhebung der Erdleitung des einen Quadrantenpaares gleitet er in den oberen Kondensator zurück, die beiden Kondensatorräume werden durch die halbkreisförmigen Scheiben getrennt, und die Influenz der Elektrode wird gemessen. Bei den ersten Messungen wird die Untersuchung alle 3 Minuten, späterhin alle 5—7 Minuten wiederholt.

Beiliegende Kurve und Tabelle veranschaulicht den Verlauf der Erscheinung.

---

[1]) H. Geitel (Phys. Z. 2, p. 116, 1900).
[2]) C. T. R. Wilson (Proc. Roy. Soc. 68, p. 151, 1901).
[3]) Harms (Phys. Z. 4, p. 11, 1902—1903).

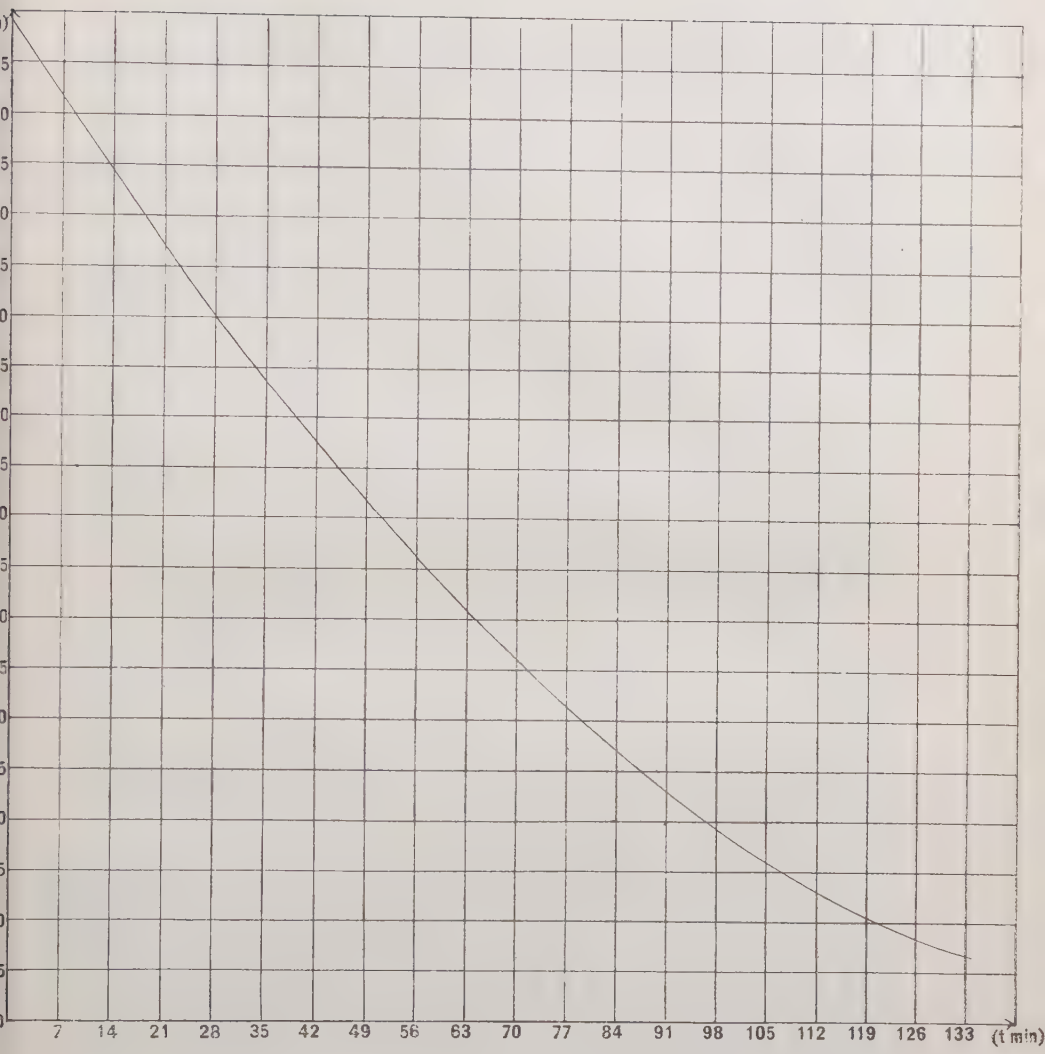


Fig. 37.

x	t	x	t	x	t	x	t
99.43	0^m	67.78	30^m 39.1^s	41.14	63^m 24.7^s	17.47	101^m 21.3^s
95.92	3′ 6.8″	65.84	34′ 3.6″	37.89	67′ 33.3″	15.17	106′ 13.1″
92.73	6′ 11.2″	63.36	37′ 15.0″	35.06	71′ 24.9″	14.19	112′ 25.6″
89.08	10′ 7.2″	60.2	40′ 45.4″	32.48	75′ 24.1″	11.7	118′ 4.4′
85.02	13′ 27.5″	56.77	44′ 17.8″	29.51	79′ 40.0″	9.48	123′ 55.2″
81.24	17′ 4.8″	53.8	47′ 52.2″	26.97	83′ 36.8″	7.6	130′ 14.1′
77.57	20′ 24.7″	49.84	52′ 4.6″	24.51	88′ 1.2″	5.54	137′ 33.3″
73.66	24′ 9.8″	47.08	55′ 43.2″	22.28	92′ 5.0″	4.38	142′ 59.8″
70.82	27′ 19.2″	44.02	59′ 47.2″	20.0	96′ 21.5″		

Die Entladungskurve zeigt große Ähnlichkeit mit der von Harms. Alle Werte liegen anfangs sehr genau auf einer Geraden bis $x = 73$ cm Ausschlag und $t = 21$ Minuten, die dann später gegen die t-Achse konvex wird. Der gerade Verlauf der Kurve entspricht dem im Untersuchungsraume vorhandenen Sättigungsstrom, d. h. bei einer Ladung unseres Messingzylinders auf 11—16 Volt ist die Stromstärke im Jonisationsraume von der elektromotorischen Kraft unabhängig; unter dieser Bedingung werden fortwährend alle in der Sekunde entstandenen Jonen in unserem Falle an die Elektroden beziehungsweise an das erregte Dielektrikum abgeschieden, und zwar wandern die positiven Jonen an die negative Seite des Dielektrikums und die innere Elektrode des Kondensators, alle negativen Jonen an die positive Seite des Dielektrikums und die äußere Elektrode. Der Sättigungsstrom gestattet, den Jonengehalt der Luft pro ccm und Sekunde zu ermitteln. Dazu benötigen wir die Kenntnis der Kapazität des kleinen Messingzylinders.

Zu diesem Zwecke wird er mit einem Dolezalek-Binantenelektrometer verbunden, dessen Eichung zuvor mehrere Mal vorgenommen ist. Seine Kapazität und die der Zuleitungsdrähte wird nach der Methode der Ladungsteilung öfters für verschiedene Spannungen bestimmt und nach der Gleichung:

$$x = K \frac{V - V'}{V'}$$

berechnet, wenn unter K die Kapazität eines Normalkondensators (1. Zylinderkondensator: Länge 11 cm, Durchmesser des inneren Zylinders 2 cm, lichte Weite des äußeren 4,92 cm, Länge 18,3 cm, $K = 6{,}14$ cm; 2. Zylinderkondensator: innerer Zylinder: Länge 31 cm, Durchmesser 2 cm, lichte Weite des äußeren 4,91 cm, $K = 17{,}18$ cm), unter V das Potential der Kapazität K + der gesuchten Kapazität x + der Zuleitungsdrähte und unter V′ das Potential verstanden ist, das angezeigt wird, nachdem die zuvor geerdete Kapazität x + Zuleitungsdrähte mit dem Normalkondensator wieder verbunden sind. Dieselbe Methode gestattet die Bestimmung der Kapazität des kleinen Messingzylinders und Elektrometers + Zuleitungsdrähte. Während der Ausführung dieser Messung befindet sich der Messingzylinder im großen Versuchsapparat, um die Beobachtung der Wirklichkeit anzupassen. Wir finden die Kapazität des Messingzylinders zu 29,61 cm.

Aus Kapazität, Spannungsabfall berechnen wir die Stromstärke und daraus den Jonengehalt nach folgenden Ansätzen:

$$e = CV; \quad \frac{de}{dt} = i = C\frac{dV}{dt}.$$

C und $\frac{dV}{dt}$ sind aus den Beobachtungen bekannt. Aus der Tabelle finden wir für die Abnahme des Ausschlages unseres Quadrantenelektrometers 1,09 Skalenteile pro Minute, indem wir selbstverständlich diesen Wert nur dem Gebiete des Sättigungsstromes entnehmen. Unsere Messungen des Spannungsverlustes beginnen mit 99,43 cm Ausschlag des Elektrometers. Diesen entsprechen 15,07 Volt Spannung des Messingzylinders. Die Spannungsabnahme in Volt pro Minute finden wir nach dem Ansatz:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{15{,}07 \cdot 1{,}09}{99{,}43}.$$

Im Bereiche des Sättigungsstromes verschwinden daher pro Minute:

$$\frac{15{,}07 \cdot 1{,}09}{99{,}43 \cdot 300} 29{,}61 \text{ e. st. E.} = 1{,}63 \cdot 10^{-2} \text{ e. st. E.}$$

Das Volumen, in dem sich unser Messingzylinder befindet, beträgt 577,2 ccm, wenn wir damit den vom elektrischen Felde erfüllten Raum, d. h. den Raum bezeichnen, der vom äußeren Zylinder unserer Zylinderkondensatoren begrenzt wird, und dessen Höhe 30 cm eingesetzt ist. Es werden also in jedem ccm pro Sekunde $\frac{1{,}63 \cdot 10^{-2}}{60 \cdot 577{,}2} = 4{,}7 \cdot 10^{-7}$ e. st. E. verbraucht. Nach M. Planck[1]) trägt 1 Jon die Ladung $4{,}69 \cdot 10^{-10}$ e. st. E. Pro 1 Sekunde werden also in 1 ccm 1000 Jonen erzeugt und verbraucht. In vollkommen abgeschlossenen Räumen fand C. T. R. Wilson bei 15° C in 1 ccm 14 bzw. 19 Jonen pro 1 Sekunde und Harms 28 Jonen pro 1 Sekunde. In einem später abgefaßten Aufsatz erwähnt Harms[2]), daß die Absolutwerte für die Anzahl der in 1 ccm Luft pro Sekunde gebildeten Jonen falsch seien, da die Kapazitätsbestimmungen bei kleinen Kapazitäten sehr abhängig sind von der Konfiguration der in der Nähe befindlichen Leiter, was in der Berechnung außer acht geblieben ist.

[1]) M. Planck (Ann. d. Phys. 9, p. 64, 1902).

[2]) Harms (Phys. Z. 5, p. 47, 1904).

E. Riecke[1]) bestimmt in seiner Arbeit über „Beiträge zu der Lehre von der Luftelektrizität“ unter Benutzung der Versuche von Harms und des von Planck gegebenen Wertes für das elektrische Elementarquantum die Zahl der Jonen zu 43.

Wenn unsere Messungen wesentlich andere Werte ergeben, so liegt dies an den Versuchsbedingungen. Die Beobachtungen sind in einem nicht vollständig abgeschlossenen Raume angestellt, denn durch die Löcher, die als Führung für die Messingkettchen dienen, und die leicht verschiebbaren Messingplatten R und S sowie durch den nicht luftdicht aufgesetzten Zylinder C strömt fortwährend frische Luft von außen zu.

Die Abweichungen lassen noch auf eine weitere Ursache schließen. Infolge der im Institut ausgeführten radio-aktiven Arbeiten ist der Jonengehalt sehr angereichert, so daß sich eine wenn auch nur äußerst schwache Wirkung geltend macht.

Aus unseren Werten ist leicht der Einfluß, den die Jonen auf das Verschwinden der Nachwirkung ausüben, zu berechnen. Wir gehen wieder von der Gleichung aus:

$$\frac{de}{dt} = C\,\frac{dV}{dt};$$

$$\frac{de}{dt} = 1000 \cdot 577{,}2 \cdot 4{,}69 \cdot 10^{-10}.$$

$C = 29{,}61$ cm. $\frac{dV}{dt}$ können wir durch $\frac{dV'}{dt}$, den Angaben unseres Quadrantenelektrometers, ausdrücken. Es besteht nämlich zwischen beiden Ausdrücken die Beziehung: $\frac{dV}{dt} = \alpha\,\frac{dV'}{dt}$, wo α eine Konstante $= 79{,}5$ bezeichnet. Setzen wir diese Werte ein, so erhalten wir:

$$\frac{de}{dt} = C\alpha\,\frac{dV'}{dt};$$

$$\frac{dV'}{dt} = \frac{de}{dt \cdot \alpha \cdot C}.$$

Dieser Wert gibt uns den Potentialabfall in e. st. E. Wir messen direkt die Volt, indem wir mit 300 multiplizieren.

$$\frac{dV'}{dt} = \frac{577{,}2 \cdot 4{,}69 \cdot 10^{-7} \,.\, 300}{29{,}61 \cdot 79{,}5} = 0{,}0000345\ \text{V}\ \text{pro 1 Sek.}$$

In 1 Minute haben wir einen Spannungsverlust dV' von rund 0,002 Volt, was einem Ausschlag unseres Elektrometers von

[1]) E. Riecke (Ann. d. Phys. (4) 12, p. 80, 1903).

1,13 cm entspricht. Diesen Wert von dV′ werden wir in eine Grenze einschließen müssen, denn nur zeitweise kann auf unseren Zylinder der volle Jonengehalt des Volumens 577,2 ccm einwirken, da während eines größeren Zeitraumes der untere Kondensatorraum durch die verschiebbaren halbkreisförmigen Scheiben vom oberen Raume vollständig abgeschlossen ist. Das Volumen des unteren Kondensatorraumes berechnet bis zu den beiden Messingscheiben beträgt 240,1 ccm. Setzen wir daher das Volumen des oberen Raumes 337,1 ccm, so erhalten wir für

$$\frac{dV'}{dt} = 0{,}0012 \text{ Volt} = 0{,}6 \text{ cm}$$

Ausschlag pro Minute. Der durch den Jonengehalt der Luft bedingte Spannungsabfall liegt zwischen den Grenzen in Volt:

$$0{,}0012 < \frac{dV'}{dt} < 0{,}002 \text{ V}$$

oder in cm Ausschlag:

$$0{,}6 < \frac{dV'}{dt} < 1{,}13 \text{ cm pro Minute.}$$

Die Potentialverteilung ist auf der Oberfläche unseres Messingzylinders eine andere als auf der der untersuchten Dielektrika. Da unsere Messung nur als Abschätzungswert dienen soll, gewährt uns diese Methode trotzdem einen hinreichenden Anhalt.

Wenden wir unsere Berechnung auf die Dielektrika an, und betrachten wir nur den Bereich, der dem Gebiete des Sättigungsstromes für die Beobachtung mit dem Messingzylinder entspricht, dann finden wir unter Berücksichtigung ihrer Dielektrizitätskonstanten D den durch die Luftionen bewirkten Spannungsverlust:

a) bei Kolophonium ($D = 2{,}5$) für $T = 2$ Minuten und $V = -3210$ Volt:

$$0{,}00048 < dV' < 0{,}00083 \text{ Volt pro 1 Minute}$$

oder reduziert auf den Ausschlag unseres Elektrometers in cm: $0{,}17 < dV' < 0{,}42$,

d. h. der durch Luftionen bedingte Spannungsverlust beträgt für $t = 1^m - 1^m\ 57{,}2^s$

$$0{,}8\,\% < dV' < 2{,}1\,\%$$

pro Minute.

b) Ebonit ($D = 2{,}7$) für $T = 2$ Minuten und $V = -3210$ Volt:

$$0{,}00045 < dV' < 0{,}00077 \text{ Volt}$$

oder reduziert auf den Ausschlag in cm:

$$0{,}11 < dV' < 0{,}32,$$

d. h. für $t = 1^m - 2^m 30^s$ beträgt der Spannungsverlust:

$$0{,}55\,\% < dV' < 1{,}6\,\% \text{ pro Minute.}$$

c) Schellack ($D = 3{,}1$) für $T = 2$ Minuten und $V = -3210$ Volt:

$$0{,}00039 < dV' < 0{,}00067 \text{ Volt}$$

oder reduziert auf den Ausschlag in cm:

$$0{,}09 < dV' < 0{,}3,$$

d. h. für $t = 2^m - 2^m 57{,}6^s$ beträgt der Spannungsverlust:

$$0{,}57\,\% < dV' < 1{,}9\,\% \text{ pro Minute.}$$

d) Siegellack ($D = 4{,}56$) für $T = 2$ Minuten und $V = -3220$ Volt:

$$0{,}00027 < dV' < 0{,}00045 \text{ Volt}$$

oder reduziert auf den Ausschlag in cm:

$$0{,}06 < dV' < 0{,}11,$$

d. h. für $t = 2^m - 3^m$ beträgt der Spannungsverlust:

$$0{,}46\,\% < dV' < 0{,}84\,\% \text{ pro Minute.}$$

Auf die Nachwirkungen üben die Luftionen einen geringen Einfluß aus, wie außer der Berechnung auch die Entladungskurve des Messingzylinders zeigt. Es müssen daher Kräfte wesentlich anderer Natur die Hauptrolle spielen. Wie diese Kräfte beschaffen sein können, darüber wollen wir im folgenden Abschnitt sprechen.

§ 7. Versuch einer Erklärung der verschiedenartigen Nachwirkungen der Dielektrika und Schluß.

Die älteren Theorien über dielektrische Erregung, die sich eng an die Poissonsche Anschauung über das Wesen des induzierten Magnetismus anlehnen, sind von Faraday, Mosotti und Clausius ausgebaut und basieren auf der Annahme körperlicher leitender Moleküle, die im isolierenden Medium eingebettet und als Träger der dielektrischen Wirkungen anzusprechen sind. Dieser Hypothese ist die moderne Auffassung der dielektrischen Erscheinungen nahe verwandt. Sie ist niedergelegt in der Elektronentheorie, die die Existenz elektrischer Atome (Elektronen) an die Spitze stellt.

Nach den Lehren über Kathodenstrahlen tragen diese Elektronen negative Ladung, während die positive Ladung mit den ponderabelen Molekülen in engster Verbindung steht, wie die neuesten Untersuchungen mit großer Sicherheit ergeben haben.

Im Nichtleiter sind die Elektronen innerhalb der Wirkungssphäre der einzelnen ponderabelen, positiv geladenen Moleküle beweglich und durch eine Art elastische Kräfte „quasielastische Kräfte genannt", die der elektrischen Feldstärke proportional sind, an eine bestimmte Gleichgewichtslage gebunden. Mit dieser Annahme müssen wir nach den Gesetzen der Elektronentheorie die Vorstellung verknüpfen, daß die negativ geladenen Elektronen innerhalb der räumlich verteilten positiven Ladungen in sehr kleinen Elongationen Schwingungen von bestimmter Dauer und bestimmtem Dämpfungsverhältnis ausführen. Diese Größen bedingen die Zeit, die nötig ist, bis das erregte Elektron seinen stabilen Gleichgewichtszustand wieder erreicht. Die Anschauung über den Mechanismus, den man für die Bewegung der Elektronen und die derselben entgegenstehenden Kräfte annimmt, wird durch die Lehren der modernen Optik, namentlich der Theorien der Dispersion und Absorption gestützt. Wenden wir unsere Betrachtungen auf die dielektrischen Nachwirkungserscheinungen an, so gestatten diese Annahmen eine Erklärung unserer Beobachtungen.

Wirkt auf ein Dielektrikum ein elektrisches Feld ein, so werden die Elektronen „Polarisationselektronen" im obigen Sinne aus ihrer Ruhelage verschoben und bedingen die dielektrische Polarisation des Körpers. Daneben tritt aber in jedem Isolator eine mehr oder weniger stark ausgebildete zweite Jonengattung auf. Bereits Maxwell schreibt jedem Dielektrikum eine gewisse Leitfähigkeit zu. Es sind daher neben Polarisationselektronen auch frei bewegliche Leitungselektronen vorhanden, so daß sich die Dichte der elektrischen Ladung auf der Oberfläche eines Dielektrikums aus der der Polarisationselektronen und der der Leitungselektronen zusammensetzt. In jedem polarisierten Dielektrikum wird nach Aufhebung des elektrischen Feldes die durch die Leitungselektronen bewirkte Ladung dem Ohmschen Gesetze gemäß allmählich abklingen; die Polarisationselektronen werden infolge der durch die schwingende Bewegung ihnen innewohnenden lebendigen Kraft dem Gesetze der Trägheit folgend nicht sofort ihre stabile Ruhelage einnehmen, sondern je nach der Größe der Dauer ihrer Schwingungen und ihres Dämpfungsverhältnisses erst nach geraumer Zeit dahin zurückkehren.

Unsere Nachwirkungskurven superponieren sich daher aus zwei verschiedenen Elementen. Je nachdem das eine oder das

andere überwiegt, ist der Verlauf der Nachwirkung charakterisiert. Von diesem Gesichtspunkte ausgehend wäre das starke Anwachsen der dielektrischen Erregung bei Ebonit, Schellack und Siegellack neben der Erregung durch Polarisation einem bedeutenden Einfluß der Leitfähigkeit zuzuschreiben, während Paraffin und Schwefel mehr den Einfluß der Polarisation hervortreten lassen, und bei diesen eine Leitfähigkeit stark in den Hintergrund gedrängt erscheint. Dies erklären auch die für die Leitfähigkeit ermittelten Werte. Nach der Tabelle in Landolt und Börnstein[1]) ist nach Curie die Leitfähigkeit für Ebonit bei der Temperatur $t = 20°$ $\lambda = 0 \cdot 486 \cdot 10^{-15}$. W. Dietrich[2]) gibt für Schellack bei $t = 22°$ $\lambda = 0 \cdot 581 \cdot 10^{-15}$ für Siegellack bei $t = 18° \lambda = 1 \cdot 37 \cdot 10^{-15}$ (?) an. λ für Kolophonium wurde in der Literatur nicht gefunden. Nach Hasenöhrl[3]) finden wir für Paraffin $\lambda = 2 \cdot 10^{-21}$ und Schwefel $\lambda = 8 \cdot 10^{-21}$ bei Zimmertemperatur.

Diese Werte lassen ganz bedeutende Unterschiede in der Leitfähigkeit der verschiedenen Isolatoren erkennen und entscheiden in unserem Sinne. Das starke Anwachsen der dielektrischen Erregung bei Ebonit, Schellack und Siegellack entspricht dem großen Leitvermögen beider Substanzen, während die im Vergleich zu ihnen geringe Leitfähigkeit des Paraffins und Schwefels den großen Unterschied im Verlauf ihrer Nachwirkungskurven erklärt. Die Gesetzmäßigkeit, daß mit erhöhtem λ auch die Erregung anwächst, zeigt sich so recht deutlich neben Ebonit, Schellack und Siegellack auch bei Schwefel und Paraffin. Das größere Leitvermögen des Schwefels bedingt eine stärkere dielektrische Erregung, wie unsere Messungen ergeben haben.

Diese Betrachtungen gestatten, für die Praxis wichtige Schlüsse zu ziehen. Die geringe Leitfähigkeit gut gereinigten Paraffins, seine geringe Nachwirkung zeichnet es vor allen untersuchten Materialien als besten Isolator aus. Fast gleichwertig mit ihm ist Schwefel, während die anderen Substanzen infolge ihrer starken Nachwirkung und größeren Leitungsfähigkeit gegen diese zurücktreten müssen.

---

[1]) Landolt und Börnstein 3. Auflage p. 724.
[2]) W. Dietrich (Gött. Inaug. Diss. 1909).
[3]) Hasenöhrl l. c.

C. Anhang.

Anwendung der Wiechert'schen Theorie über elastische Nachwirkungen.

Der durchaus ähnliche Verlauf der Nachwirkungskurven bei dielektrischer Erregung mit denen bei elastischer Nachwirkung legt uns die Frage nahe, ob sich nicht unsere Erscheinungen mit der Theorie über elastische Nachwirkung in Einklang bringen lassen. Schon Kohlrausch[1]) zieht Vergleiche zwischen der Ähnlichkeit des Verlaufes des Rückstandes in Leidener Flaschen und der elastischen Nachwirkung. Später hat Hopkinson[2]) die Rückstandbildung durch Boltzmanns[3]) Theorie über elastische Nachwirkung darzustellen versucht. In neuerer Zeit hat E. Wiechert[4]) eine allgemeine Nachwirkungstheorie entwickelt, die die Ansätze der Theorien von F. Kohlrausch[5]) und Boltzmann über elastische Nachwirkungen in sich aufnimmt. Durch eine Reihe eigener und früherer Beobachtungen fand Wiechert seine Theorie bestätigt. In letzter Zeit erwies sie sich durch Untersuchungen von H. Tobusch[6]) sowohl für die Erklärung der elastischen als auch magnetischen Nachwirkungen als brauchbar.

Wir wollen untersuchen, ob sich unsere Nachwirkungskurven über dielektrische Erregung dieser Theorie fügen. Es erübrigt,

[1]) Kohlrausch (Pogg. Ann. 91 p. 56, 179, 1854).

[2]) Hopkinson (Phil. Trans, 167 p. 599, 1877).

[3]) Boltzmann (Wien. Ber. [2] 70 p. 275, 1874; Pogg. Ann. Erg. Bd. 7 p. 624, 1876).

[4]) E. Wiechert (Königsberger Inaug. Diss. 1889; Wied. Ann. 50 p. 335, 546, 1893).

[5]) F. Kohlrausch (Pogg. 128 p. 1, 1866).

[6]) H. Tobusch (Gött. Inaug. Diss. 1908; Ann. d. Phys. 26 p. 439, 1908).

auf ihre Entwickelung näher einzugehen, da sie in den zitierten Arbeiten ausführlich dargestellt ist. Wir begnügen uns mit der Angabe der Hauptsätze, nach denen unsere Berechnung ausgeführt ist. Aus der Theorie ergibt sich die Gleichung für die Nachwirkung zu einer beliebigen Zeit t: $x_t = \vartheta \left\{ \bar{\psi}(t) - \bar{\psi}(t+T) \right\} + S_1 + S_2$,

worin $S_1 = x_t \left\{ \bar{\psi}(t) - \bar{\psi}(T) \right\}$ und $S_2 = -\int_0^T \left\{ \bar{\psi}(T-t) - \bar{\psi}(T) \right\} dx_t$

bedeuten. Die Glieder S_1 und S_2 können als sehr kleine Korrektionsgrößen gewöhnlich außer acht gelassen werden. Wir erhalten daher die Gleichung: $x_t = \vartheta \left\{ \bar{\psi}(t) - \bar{\psi}(t+T) \right\}$. $\bar{\psi}$ berechnet sich aus $\psi(t) = \dfrac{\bar{\psi}(t)}{e + \bar{\psi}(t)}$, wobei $\bar{t}$ ein passend gewähltes Zeitintervall meistens 1 und e eine Konstante ist. Wir können daher setzen: $\bar{\psi}(t) = C\,\psi(t)$; die Funktion $\psi(t)$ wird aus einer Summe von Gliedern gebildet, die sich darstellt $\Sigma = e^{-\frac{t}{\rho}}$. Aus theoretischen Überlegungen folgt, daß Σ in $\int$ übergeführt werden kann. Wir erhalten einen Ausdruck von der Form: $\psi(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi\, e^{-\frac{t}{\rho}} d\ln\frac{\rho}{r}$.

Unter Berücksichtigung ähnlicher Beziehungen in der Lehre der Wahrscheinlichkeitsrechnung und einiger Umformungen erhalten wir eine Gleichung:

$$\psi(t) - \psi(\eta) = g\left(\eta^\gamma - t^\gamma\right);\ \psi(t) = \text{const} - g\,t^\gamma.$$

Setzen wir diese Werte in unsere Ausgangsgleichung, so erhalten wir:

$$x_t = \vartheta \left\{ C\left(\text{const} - g\,t^\gamma\right) - C\left(\text{const} - g\,(T+t)^\gamma\right) \right\};$$

$$x_t = G\left\{ (T+t)^\gamma - t^\gamma \right\}$$

unter Vernachlässigung der Korrektionsglieder S_1 und S_2. In der Konstanten G steckt die Grösse des elektrischen Feldes. G und γ sind zwei universelle Konstanten, die für ein bestimmtes Feld und für verschiedene Expositionszeiten T denselben Wert behalten müssen.

Hierin bestehen die grossen Vorzüge der Wiechert'schen Theorie über die allgemeine Nachwirkung gegenüber allen übrigen Ansätzen. Aus passend gewählten G und γ läßt sich eine große Reihe von Nachwirkungskurven für mannigfache T im voraus berechnen. Ändern wir G in geeigneter Weise, dann können wir eine zweite Gruppe von Nachwirkungen darstellen.

Aus dem reichhaltigen Material sind unserer Berechnung nur die Beobachtungen von Siegellack für V = — 490 Volt und T=3, 2, 1, $^1/_2$, $^1/_4$ Minuten zugrunde gelegt, weil diese Messungen eine wunderbare Übereinstimmung mit den Kontrollmessungen zeigen, und wir beabsichtigen, die Theorie an einem Versuche zu prüfen, bei dem ein schwaches Feld angelegt ist. Die folgende Tabelle enthält die beobachteten Werte x und die berechneten $x_t \cdot \Delta$ bezeichnet die Differenz zwischen x und x_t.

$G = 1736.41 \qquad \gamma = 0.09538.$

V −490 V	T − 3 min	t	x (mm)	x_t (mm)	Δ
	0m	30 s	371.8	331.43	+40.37
	1′	0″	261.7	245.34	+16.36
	2′	3.6″	179.2	166.35	+12.85
	3′	12.0″	142.8	126.41	+16.39
	4′	2.4″	118.4	108.01	+10.39
	5′	14.4″	102.4	89.77	+12.63
	6′	4.8″	91.6	80.4	+11.2
	7′	33.5″	73.4	67.89	+ 5.51
	8′	33.6″	66.6	61.99	+ 4.61
	9′	21.6″	62.7	57.65	+ 5.05
	10′	57.3″	55.2	51.05	+ 4.15
	14′	19.2″	41.7	40.98	+ 0.72
	17′	57.1″	34.0	33.86	+ 0.14
	21′	51.0″	28.7	28.83	— 0.13
	25′	2.0″	24.8	25.7	— 0.9
	28′	6.6″	22.2	23.27	— 1.07
	31′	34.9″	19.3	20.84	— 1.54
	35′	8.5″	17.2	19.1	— 1.9
	45′	29.6″	13.6	15.11	— 1.51
	55′	36.9″	10.6	12.85	— 2.25
	70′	57.7″	7.6	10.42	— 2.82
	86′	0.6″	5.7	8.68	— 2.98
	95′	11.9″	4.9	7.12	— 2.22
	116′	11.8″	3.3	6.77	— 3.47
	158′	21.6″	1.3	5.04	— 3.74
	178′	17.6″	0.9	4.52	— 3.62
	224′	18.1″	0.2	3.82	— 3.62

V −490 V	T − 2 min	t	x (mm)	x_t (mm)	Δ
	0m	30 s	310.3	269.79	+40.51
	1′	0″	210	191.87	+18.13
	2′	1.2″	134.8	125.89	+ 8.91
	3′	44.9″	90.5	81.96	+ 8.54
	4′	0.7″	85.5	78.14	+ 7.36
	5′	16.8″	71.2	63.2	+ 8.0
	6′	40.8″	58.1	52.61	+ 5.49
	7′	19.5″	52.4	48.97	+ 3.43
	8′	38.4″	44.8	42.89	+ 1.91
	9′	31.2″	41.2	38.9	+ 2.3
	10′	43.2″	38.7	35.77	+ 2.93
	11′	1.5″	36.8	34.9	+ 1.9
	14′	19.5″	28.4	27.96	+ 0.44
	17′	48.0″	22.9	23.44	— 0.54
	21′	18.5″	20.1	19.97	+ 0.13
	24′	43.4″	16.2	17.54	— 1.34
	28′	25.2″	14.3	15.45	— 1.15
	31′	52.2″	12.5	14.07	— 1.57
	35′	32.7″	10.1	12.85	— 2.75
	40′	48.8″	9.0	11.29	— 2.29
	49′	5.0″	7.4	9.55	— 2.15
	62′	24.0″	4.7	7.81	— 3.11
	70′	34.1″	3.2	6.95	— 3.75
	86′	21.5″	2.5	5.73	— 3.23
	100′	17.1″	1.1	5.04	— 3.94
	118′	20.9″	0.7	4.34	— 3.64
	148′	37.7″	0.1	3.65	— 3.55

V 490 V	T − 1 min	t	x (mm)	x_t (mm)	Δ
	0m	30 s	192.9	179.49	+13.41
	1′	0″	124.8	119.12	+ 5.68
	2′	0″	75.1	73.28	+ 1.82
	3′	35.5″	47.5	46.53	+ 0.97
	4′	22.2″	39.6	39.76	— 0.16
	5′	16.8″	33.6	33.86	— 0.26
	6′	43.0″	27.6	27.61	— 0.01
	7′	38.4″	22.8	24.83	— 2.03
	8′	33.8″	21.0	22.57	— 1.57
	9′	53.6″	19.4	19.97	— 0.57
	10′	57.6″	17.9	18.23	— 0.33
	12′	12.2″	14.4	16.5	— 2.1
	15′	27.0″	11.8	13.54	— 1.74
	18′	54.5″	9.7	11.98	— 2.28
	23′	13.0″	7.7	9.55	— 1.85
	26′	51.4″	5.8	8.34	— 2.54
	30′	25.5″	5.0	7.47	— 2.47
	33′	47.2″	4.2	6.77	— 2.57
	36′	49.5″	3.4	6.25	— 2.85
	42′	34.1″	3.1	5.56	— 2.46
	53′	2.8″	1.5	4.52	— 3.02
	63′	50.4″	1.1	3.82	— 2.72
	85′	9.9″	0.8	2.78	— 1.98
	92′	4.3″	0.2	2.61	— 2.41

$\dot{G} = 1736.41$ $\gamma = 0.09538$

V = — 490 V̸ T = $^1/_2$ min

t	x (mm)	x_t (mm)	Δ
0m 30s	120.5	111.08	+ 9.42
1′ 0″	63.6	68.42	— 4.82
2′ 10.8″	36.8	37.16	— 0.36
3′ 46.2″	23.8	23.62	+ 0.18
4′ 33.6″	20.5	19.97	+ 0.53
5′ 14.4″	18.8	17.89	+ 0.91
6′ 50.5″	13.7	14.07	— 0.37
7′ 19.2″	13.2	13.2	± 0.00
8′ 38.4″	11.2	11.63	— 0.43
9′ 40.8″	10.0	10.42	— 0.42
10′ 53.3″	9.5	9.2	+ 0.3
13′ 59.9″	6.5	7.47	— 0.97
19′ 2.4″	5.4	5.73	— 0.33
22′ 4.6″	4.6	5.04	— 0 44
25′ 29.2″	3.3	4.34	— 1.04
27′ 58.7″	3.1	4.17	— 1.07
31′ 34.3″	2.3	3.47	— 1.17
35′ 23.2″	2.0	3.3	— 1.3
41′ 15.6″	0.9	2.77	— 1.87
46′ 44.2″	0.5	2.61	— 2.11
52′ 8.0″	0.3	2.26	— 1.96
61′ 29.8″	0.1	2.08	— 1.98

V = — 490 V̸ T = $^1/_1$ min

t	x (mm)	x_t (mm)	Δ
0m 30s	77.3	64.02	+ 13.28
1′ 0″	43.8	37.33	+ 6.47
2′ 6.0″	25.2	20.14	+ 5.06
3′ 55.0″	14.3	11.63	+ 2.67
4′ 28.8″	12.8	10.42	+ 2.38
5′ 38.4″	10.8	8.51	+ 2.31
6′ 40.8″	9.3	7.29	+ 2.01
7′ 10.4″	8.5	6.95	+ 1.55
8′ 38.4″	7.2	5.9	+ 1.3
9′ 26.4″	6.9	5.38	+ 1.52
10′ 14.6″	5.3	5.04	+ 0.26
13′ 34.2″	4.0	3.82	+ 0.18
16′ 47.8″	3.8	3.13	+ 0.67
19′ 57.3″	3.5	2.78	+ 0.72
23′ 47.4″	2.8	2.43	+ 0.37
28′ 50.1″	2.0	2.08	— 0.08
34′ 6.3″	1.2	1.56	— 0.36
39′ 2.8″	0.7	1.56	— 0.86
48′ 9.7″	0.4	1.22	— 0.82

Bei großem Ausschlage x finden wir zwischen beobachteten und berechneten Werten sehr große Unterschiede. Hat die Nachwirkung den Betrag x = zirka 4 cm erreicht, so zeigt der berechnete Wert x_t mit dem beobachteten x befriedigende Übereinstimmung. Wir können daher die Vermutung aussprechen, daß bei kleinen dielektrischen Erregungen die allgemeine Wiechert'sche Nachwirkungstheorie auch die dielektrische Nachwirkung darzustellen gestattet, eine Annahme, die sich mit der Ansicht Wiecherts deckt. Denn er folgert aus den Berechnungen von Kohlrauschs Beobachtungen über die Torsionsnachwirkung an einem Silberdraht, daß seine Theorie nur für kleine Deformationen gültig ist.

Eine zuletzt beobachtete Erscheinung an Ebonit läßt schließen, daß sich auch die bei stärkerem elektrischen Felde beobachtete dielektrische Erregung vielleicht von Anfang an der Wiechert'schen Theorie fügt. Es war beabsichtigt, mit Ebonit eine Kontrollmessung auszuführen. Der Körper war $^3/_4$ Jahre vorher untersucht und bis dahin unter Lichtabschluß im Exsikkator aufbewahrt. Unter der größten Vorsicht wird er zur zweiten Untersuchung in den Versuchsapparat gebracht und nach einigen Tagen, als alle Oberflächenladung verschwunden ist, einem Potential V = — 1630 Volt bei einer Expositionszeit T = 3 Minuten ausgesetzt. Nach t = 30 Sekunden erhalten wir einen Ausschlag x = 19,27 Skalenteilen. Eine zweite Kontrollmessung ergibt nach t = 30 Sekunden x = 18,82 Skalenteile, während wir $^3/_4$ Jahre vorher für x = 88,91 Skalenteile fanden. Infolge der Kürze der Zeit konnten ausführlichere Untersuchungen nicht vorgenommen werden. Ob chemische Einflüsse, ausgelöst durch Einwirkung trockener Luft, auf Ebonit, eine wesentliche Rolle spielen, oder jedes Dielektrikum einige Zeit braucht, bis es nach mechanischer Bearbeitung einen Normalzustand erreicht, darüber zu entscheiden, bedarf es weiterer Versuche.

Auch Tobusch erwähnt in seiner Arbeit über elastische Nachwirkungen ein ähnliches Phänomen. Er findet, daß die elastische Nachwirkung in der ersten Zeit nach Herstellung des Materials eine zuerst rasche, dann langsamer verlaufende Änderung erfährt, und zieht hieraus den Schluß, Nachwirkungserscheinungen nur an solchem Material zu prüfen, das schon einige Zeit alt ist.

D. Zusammenfassung.

Unsere Untersuchungen sind in zwei getrennten Zylinderkondensatoren ausgeführt. Im ersten wird das elektrische Feld erzeugt und das zu untersuchende Dielektrikum dielektrisch erregt, während im zweiten die dielektrische Erregung durch Influenzierung der inneren Elektrode mittels eines Quadrantenelektrometers gemessen wird. Untersucht werden: Kolophonium, Ebonit, Schellack, Siegellack, Schwefel und Paraffin. Beide letzten werden nur darauf geprüft, ob sie eine Nachwirkung zeigen.

Frisch hergestellte Dielektrika zeigen statische Ladungen, die weder durch die Flamme noch durch Röntgenstrahlen oder Einwirkung eines radioaktiven Präparates beseitigt werden können. Erst nach $^1/_4$—$^1/_2$ Jahren vollkommener Ruhe bewirkt der Einfluß des Präparates ein vollständiges Verschwinden der Oberflächenladung.

Die Beobachtungen sind in Kurven und Tabellen niedergelegt. Die Nachwirkung wächst mit der Stärke und Dauer des einwirkenden Feldes. Die Geschwindigkeit, mit der die dielektrische Erregung abklingt, wird mit wachsender Größe und Dauer des elektrischen Feldes kleiner. Bei konstanter Spannung wächst die Größe der Nachwirkung für kleine V langsamer als die der Expositionszeit T. Für größere V steigt die Nachwirkung schnell an, um dann mit wachsendem T sich scheinbar langsam einem Maximum zu nähern. Bei konstanter Expositionszeit T wächst die Nachwirkung bei kleinem T langsam an; größere T bewirken ein schnelleres Anwachsen der Nachwirkung als die Spannungszunahme beträgt.

Paraffin und Schwefel zeigen eine Nachwirkung.

Der Einfluß der Luftionen auf das schnelle Abklingen der Nachwirkung ist sehr gering.

Es wird versucht, eine kurze Erklärung von den Nachwirkungserscheinungen bei dielektrischer Erregung zu geben und den Unterschied des Verlaufes der Nachwirkungskurven von Ebonit, Schellack, Siegellack, Paraffin und Schwefel auf die verschiedenartigen Leitfähigkeiten zurückzuführen.

Im Anhang folgt eine Anwendung der Theorie über elastische Nachwirkungen von E. Wiechert auf unsere Resultate, und ein

Versuch, die Abweichungen unserer berechneten Werte von der Wiechert'schen Theorie zu erklären.

Zum Schlusse ist es mir eine angenehme Pflicht, meinem hochverehrten Lehrer Herrn Geheimen Regierungsrat Professor Dr. E. Riecke für die mannigfachen Anregungen und das Interesse für den Fortgang der Arbeit an dieser Stelle meinen ergebensten Dank auszusprechen.

Göttingen, Physikalisches Institut der Universität.

Lebenslauf.

Ich, Ernst Joh. Schreiber, wurde am 20. Januar 1884 zu Gau-Algesheim, Kreis Bingen, geboren. Von Ostern 1890 ab besuchte ich die Volksschule zu Gau-Algesheim, sodann das Oster-Gymnasium zu Mainz. Meine Schulzeit schloß ich Ostern 1904 mit dem Abiturientenexamen am Ludwig-Georgs-Gymnasium zu Darmstadt ab.

In der Absicht, mich dem Studium der Mathematik und Naturwissenschaften zu widmen, bezog ich Sommersemester 1904 die Technische Hochschule zu Darmstadt. Von Michaelis 1905 ab studierte ich in Göttingen. Am 1. April 1911 verließ ich Göttingen, um eine Assistentenstelle am Physikalischen Institut der Technischen Hochschule zu Darmstadt zu übernehmen.

Während meiner Studienzeit besuchte ich die Vorlesungen und Praktika der folgenden Herren Professoren und Dozenten:

In Darmstadt: Dingeldey, Finger, Gast, Graefe, Henneberg, Kolb, Lepsius, Rudolphi, Scheffers, Schering, Schrader, Staedel, Wiener.

In Göttingen: Bestelmeyer, Dolezalek, Gerdien, Herglotz, Hilbert, Edler von Hofmann, Husserl, Klein, Kötz, Liebisch, Minkowski (†), Müller, Prandtl, Riecke, Runge, Simon, Verworn, Voigt, Wallach, Wiechert.